

# بررسی علل نشست تدریجی خطی زمین و ارزیابی پارامترهای ژئوتکنیکی در شهرک طالقانی اشتهارد

فریدون رضایی<sup>۱\*</sup> و احمد دادستان<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.  
<sup>۲</sup>سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۰۹/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۱/۰۴

## چکیده

نشست زمین، در محدوده شهرک طالقانی اشتهارد از نوع خطی و تدریجی است که بر روی نهشته‌های آبرفتی بنا شده است. با تهیه نقشه زمین‌شناسی و نیم‌رخ‌های آن، زمین‌شناسی ساختمانی و با وضعیت و نوع آبخوان، اثر کاهش سطح ایستابی و هیدروشیمی آب زیرزمینی، وجود کانال قدیمی احتمالی به روش ژئوالکتربیک مطالعه شد. از نظر ژئوتکنیک نهشته‌های ریزدانه عهد حاضر از نوع رس لاغر و چاق همراه با لای و ماسه در رده متوسط با تخلخل زیاد و نشست بیش از حد مجاز هستند. این خاک‌ها با املاح معدنی زیاد در رده واگرا و نیمه‌واگرا قرار دارند که با ورود آب از شبکه آبرسانی شهری و چاه‌های جذبی خانگی، حرکت بسیار آهسته را آغاز کرده و سبب نشست تدریجی خطی در امتداد میله‌ها و کوره‌های قنات قدیمی شده‌اند. بررسی وضعیت آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی دشت اشتهارد نیز نشان داد که بیلان آن منفی است و به‌رغم این که هیدروگراف چاه‌های محدوده شهرک افت جبران نشده دارند، اما در نشست خطی نقشی ندارند. خاک‌های مستعد واگرایی با نفوذ آب از چاه‌های جذبی خانگی و شبکه آبرسانی شهری و وجود میله‌ها و کوره‌های قنات قدیمی و پنهان در ژرفای ۱۵ متری در زیر شهرک طالقانی اشتهارد که سبب نشست تدریجی خطی شده است، نشان می‌دهد که گسترش شهر کهن اشتهارد و انتخاب ساختگاه جدید با مطالعات ژئوتکنیکی همراه نبوده است و زنگ خطری است که باید پیش از اجرای طرح‌های عمرانی، بررسی‌های ژئوتکنیکی را در محل ساختگاه انتخابی انجام داد.

**کلیدواژه‌ها:** نشست خطی، واگرایی، آب زیرزمینی، اشتهارد.

\*نویسنده مسئول: فریدون رضایی

E-mail: rezaie8@yahoo.fr

## ۱- مقدمه

نشست زمین در محدوده شهرک طالقانی اشتهارد که بر روی نهشته‌های آبرفتی بنا شده است، از نوع خطی و تدریجی است که در بهار ۱۳۸۴ شروع شد و باعث شد تا تنش کششی ناشی از نشست زمین به ساختمان‌های مسکونی آن آسیب برساند. برای تعیین علت اصلی ایجاد آن، بررسی‌های لازم انجام شد و نشان داد خاک‌های سست شهرک با وجود املاح معدنی قابل توجه، مستعد واگرایی هستند که با نشست آب از شبکه آبرسانی شهری و چاه‌های جذبی خانگی، سبب پیدایش تدریجی واگرایی خاک شده است. وجود قنات قدیمی پوشیده در ژرفای ۱۵ متری نیز باعث نشست خطی شده است.

## ۲- موقعیت جغرافیایی

شهر اشتهارد در ۷۰ کیلومتری باختر شهرستان کرج واقع است. مختصات محل نشست زمین "۲۴' ۴۳" عرض شمالی و "۲۱' ۳۶" ۵۰ طول خاوری است. از نظر توپوگرافی، میانگین بلندی منطقه از سطح دریا ۱۱۸۸ متر و شیب کلی آن از ارتفاعات جنوبی به سمت شمال به طرف رودخانه شور است. رودخانه شور آب‌های سطحی و زیرزمینی را از جهت باختر به خاور زهکشی می‌کند. میانگین بارندگی محدوده اشتهارد ۲۲۷ میلی‌متر در سال است. سوی باد چیره با فراوانی ۵۰ درصد از سمت باختر و شمال‌باختر و میزان تبخیر از سطح آزاد آب ۱۷۱۴ میلی‌متر است. منطقه اشتهارد اقلیم خشکی دارد (Tehran Regional Water Authority, 2005b; 2005c).

طبق بررسی‌ها در دشت اشتهارد، نشست زمین گزارش نشده است و تنها از بهار سال ۱۳۸۴ نشست تدریجی خطی آغاز شد که بلافاصله مطالعات لازم برای شناسایی علت اصلی آن انجام شد.

ساخت شهرک طالقانی در باختر شهر اشتهارد نتیجه ادامه گسترش شهر بر روی نهشته‌های کوآرنری است. در محدوده نشست زمین، ستبرای رسوبات آبرفتی ۱۱۰ متر، ستبرای اشباع لایه آبدار ۷۵ متر و ستبرای لایه غیر اشباع بالایی آن ۳۵ متر است.

به‌طور کلی، حرکت‌های رو به پایین سطح زمین در اثر نیروی جاذبه را نشست زمین می‌نامند که به‌صورت آهسته و یا ناگهانی با حرکت مواد زیر سطحی رخ می‌دهد و به‌صورت خطی، ناحیه‌ای و یا ترکیبی از هر دو حالت گسترش می‌یابد.

عوامل مؤثر در نشست زمین از فرایندهای طبیعی یا درونی (Indogenic) و یا غیرطبیعی یا بیرونی (Exogenic) ناشی می‌شوند. عوامل درونی مانند حرکت‌های زمین‌ساختی، تخلیه ماگما، انحلال سنگ‌های آهکی، فروچاله‌های کارستی، اکسیداسیون خاک‌های آلی و تراکم طبیعی خاک در مقیاس زمانی طولانی ظاهر می‌شوند. در حالی که عوامل بیرونی که ناشی از فعالیت‌های بشر هستند مانند کاهش تخلخل لایه‌های ریزدانه آبخوان در اثر افت زیاد و جبران نشده سطح آب زیرزمینی، زهکشی لایه‌های آبدار و کاهش نیروهای نگه‌دارنده (Buoyancy)، وجود غار و معبرها در معدن‌های زیرزمینی و استخراج نفت و گاز، در فاصله زمانی کوتاه‌تری ایجاد می‌شوند.

نشست زمین یک مشکل جهانی است، به‌گونه‌ای که در آمریکا بیش از ۱۷۰۰۰ مایل مربع (۴۴۰۰۰ کیلومترمربع) از زمین‌های مرغوب در ۴۵ ایالت تحت تأثیر نشست ناحیه‌ای قرار دارند (USGS, 2000). در ایران نیز دشت‌های مختلفی مانند جنوب تهران (Shemshaki & Soltani, 2005; Shemshaki et al., 2005)، همدان (Dadsetan et al., 2005)، مشهد (Anvari & Noroallahian, 2007)، کرمان (Abbasnezhad, 2004; Rahnama & Kazemi, 2006)، دچار این مشکل شده‌اند.

یکی از نخستین نیازهای انتخاب محل‌های مناسب، از میان گزینه‌های مختلف برای احداث هر مجموعه‌ای همچون شهرک‌های اقماری، شهرک‌های صنعتی، برج‌ها و مسیر عبور لوله‌های انتقال آب، گاز و نفت، انجام مطالعات ژئوتکنیک، ژئوفیزیک و هیدروژئولوژی است. این مطالعات شامل تعیین ظرفیت باربری زمین و قابلیت واگرایی خاک، بررسی تغییرات سطح ایستابی و کیفی آب زیرزمینی، امکان زهکشی لایه‌های آبدار و شناسایی ناهنجاری‌های احتمالی زیرزمینی است.

گمانه‌ها در شکل ۶ ارائه شده است. نتیجه آزمون‌های صحرایی نشان داد که مقادیر نفوذ استاندارد (SPT) خاک (American Society for Testing and Material, 2006) در ژرفاهای مختلف در رده سخت و چگالی صحرایی با استفاده از مخروط شنی (American Society for Testing and Material, 2006) در حد متوسط قرار می‌گیرد (جدول‌های ۱، ۲، ۳ و ۴) (Das, 1994; 1998a; 1998b).

### ۵-۱. ویژگی‌های مکانیکی و واگرایی خاک

ویژگی‌های مکانیکی خاک بر اساس نتایج خصوصیات فیزیکی و مکانیکی نمونه‌ها در آزمایشگاه (جدول‌های ۱ تا ۴) (Dadsetan et al., 2005) نشان می‌دهد که دارای طبقه‌های CH و CL در روش طبقه‌بندی یونفاید (USCS) است.

- ویژگی‌های فنی خاک CH در ژرفای ۸ متری گمانه BH3 به شرح زیر است:  
وزن مخصوص ( $\gamma_d$ ) خاک در حالت خشک ۱/۴۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب ( $1.46 \text{ g/cm}^3$ )، زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi'$ ) بر اساس تنش‌های مؤثر ۲۲ درجه، مقاومت چسبندگی ( $C'$ ) خاک بر اساس تنش‌های مؤثر ۰/۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع ( $0.3 \text{ kg/cm}^2$ ) و مقاومت فشاری ( $q_u$ ) محدود نشده آن ۳/۲۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع ( $3.24 \text{ kg/cm}^2$ ) به دست آمده است.

- ویژگی‌های فنی خاک CL در ژرفای ۸/۳ متری گمانه BH4 به شرح زیر است:  
وزن مخصوص ( $\gamma_d$ ) خاک در حالت خشک ۱/۴۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب ( $1.41 \text{ g/cm}^3$ )، زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi'$ ) بر اساس تنش‌های مؤثر ۲۴ درجه، مقاومت چسبندگی ( $C'$ ) خاک بر اساس تنش‌های مؤثر ۰/۲۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع ( $0.24 \text{ kg/cm}^2$ ) و مقاومت فشاری ( $q_u$ ) محدود نشده آن ۳/۷۴ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع ( $3.74 \text{ kg/cm}^2$ ) به دست آمده است.

- ویژگی‌های فنی خاک CH در ژرفای ۶/۳ متری گمانه BH2 به شرح زیر است:  
وزن مخصوص ( $\gamma_d$ ) خاک در حالت خشک ۱/۴۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب ( $1.43 \text{ g/cm}^3$ )، زاویه اصطکاک داخلی ( $\phi'$ ) آن بر اساس تنش‌های مؤثر ۲۳ درجه، مقاومت چسبندگی ( $C'$ ) خاک بر اساس تنش‌های مؤثر ۰/۳ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع ( $0.3 \text{ kg/cm}^2$ ) و مقاومت فشاری ( $q_u$ ) محدود نشده آن ۲/۳۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع ( $2.35 \text{ kg/cm}^2$ ) به دست آمده است.

محاسبه نشست به کمک رابطه (۱) با انجام آزمایش‌های تحکیم به دست آمد.

$$s = \frac{HC_e}{1 + e_0} \log \frac{p_0 + \Delta p}{p_0} \quad (1)$$

به گونه‌ای که S نشست به واحد سانتی‌متر،  $P_0$  بار قائم وارده به خاک ( $\text{kg/cm}^2$ )، H ارتفاع نمونه خاک ( $\text{cm}$ )،  $e_0$  پوکی اولیه خاک، Cc شیب منحنی پوکی - تنش و  $\Delta P$  افزایش تنش ( $\text{kg/cm}^2$ ) است.

با توجه به نتایج به دست آمده، نشست بزرگ‌ترین خاک‌های CL و CH به ترتیب مساوی  $S = 0.114 \text{ cm}$  و  $S = 0.0631 \text{ cm}$  است.

در ارزیابی تراکم با استفاده از آزمایش پروکتور اصلاح شده نوع C، پارامترهای وزن مخصوص خشک و درصد رطوبت بهینه محاسبه و نتایج آن در جدول‌های ۱ تا ۴ ارائه شده است.

در پدیده واگرایی، کانی‌های رسی به علت بار منفی کاتیون‌ها و جذب آب در سطوح ذرات، لایه دوگانه تشکیل می‌دهند و به علت اثرات متقابل آن، میان ذرات رس، نیروی دافعه به وجود می‌آید. همچنین نیروی جاذبه و اندروالسی میان ذرات نیز وجود دارد. عوامل مختلفی بر لایه دوگانه و در نتیجه بر نیروی دافعه تأثیر می‌گذارد.

خاک‌هایی که در آنها نیروی دافعه میان ذرات بیش از نیروی جاذبه باشد، وقتی در معرض آب قرار می‌گیرند، حتی اگر سرعت جریان آب کم باشد، به آسانی از هم جدا و شسته می‌شوند و فرسایش می‌یابند. این خاک‌ها به خاک‌های واگرا موسومند. بالا بودن کاتیون‌های سدیم و یا منیزیم در آب مغذی، از ویژگی‌های مهم این خاک‌هاست. آزمایش‌های هیدرومتری مضاعف، پین هول و شیمیایی

ساختمان‌های مسکونی خسارت دیده (شکل ۱)، یک و یا دو طبقه هستند که بیشتر در کوچه‌های خاوری-باختری شهید غلامحسین محمودی در جنوب و شهید غلامحسین شاه‌بختری در شمال، میان خیابان باهنر در سمت راست و خیابان رجایی در سمت چپ قرار دارند (شکل ۲). این نشست به صورت تدریجی خطی در امتداد دو کوچه یاد شده ایجاد شده است.

### ۳- روش کار

برای آگاهی از شرایط زمین‌شناسی، زمین‌ساختی و هیدروژئولوژی منطقه اشتهارد، نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ همراه با نیم‌رخ‌های مربوطه تهیه شد. برای تعیین لایه‌بندی و شرایط ژئوتکنیکی، نقاط مناسب پیرامون محدوده طرح برای حفر گمانه‌های ژئوتکنیکی انتخاب و بر اساس برنامه، نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده خاک تهیه شد. آزمایش‌های نفوذ استاندارد و چگالی صحرایی در عملیات صحرایی و آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی و مکانیکی شامل دانه‌بندی، هیدرومتری ساده و مضاعف، حدود روانی و پلاستیک، چگالی، درصد جذب آب، تراکم، pH، درصد‌های کلر، منیزیم و سولفات، تک محوری، برش مستقیم و تحکیم در آزمایشگاه انجام شد. مطالعات زیرسطحی مانند وضعیت و نوع آبخوان، اثر و عوامل تغییرات سطح ایستابی آب زیرزمینی در دوره‌های آبی و وجود ناهنجاری‌های احتمالی مانند کانال قدیمی از نظر ژئوفیزیکی بررسی شد. تمامی نتایج به دست آمده، تجزیه، تحلیل و تلفیق گردیدند و بر اساس آن، مسائل ژئوتکنیکی منطقه از نظر عوامل ایجاد کننده ناهنجاری، مقاومت زمین و نشست آن نتیجه‌گیری شد.

### ۴- زمین‌شناسی

عوامل کنترل‌کننده زمین‌ریخت‌شناسی منطقه، عوامل ساختاری، سنگ‌شناختی، دگرسانی و آب‌وهوایی است. نهشته‌های نئوژن، سست و زودفرسا هستند و شرایط آب‌وهوایی نیز با سرعت دادن به فرایند هوازدگی و فرسایش بر روی واحدهای زودفرسا، ریخت‌شناسی منطقه را در درازمدت شکل داده‌اند. به همین دلیل، سنگ‌های نئوژن در مناطق پست و کم ارتفاع مشاهده می‌شوند. نهشته‌های کواترنری از واحدهای  $Q^{11}$  (نهشته‌های آبرفتی دیرین در زمینه‌ای از ماسه و سیلت)، واحد  $Q^{12}$  (نهشته‌های آبرفتی عهد حاضر)، واحد  $Q^{1p}$  (معادل واحد  $Q^{12}$  با تراکم بیشتر آبراه‌ها و حجم بیشتر)، واحد  $Q^{cu}$  (زمین‌های کشاورزی و معادل واحد  $Q^{12}$  اما از عناصر دانه ریز) و واحد  $Q^{s1}$  (پهنه نمکی شمال) تشکیل شده‌اند (شکل ۳) (Yousefi, 2000; Dadsetan et al., 2005).

ساختمان زمین‌شناسی اصلی محدوده اشتهارد شامل دشت باریک و کشیده اشتهارد است. در ضلع شمالی، نهشته‌های نئوژن بر روی رسوبات عهد حاضر رانده شده (رانده‌گی مردآباد) و تاق‌دیس‌هایی هم قابل مشاهده است و در بخش جنوبی گسل‌های وارون (Reverse) و راستالغز فراوان هستند. در دشت اشتهارد، گسل خاوری-باختری اشتهارد قرار دارد که به طور کامل جوان است و سازوکار آن رورانده تا وارون با مؤلفه امتدادلغز چپ‌گرد است (شکل‌های ۳ و ۴). این گسل باعث قرارگیری رسوبات دانه‌ریز در کنار رسوبات درشت‌دانه آبخوان و بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در بخش خاوری دشت اشتهارد شده است (شکل ۵).

### ۵- مطالعات ژئوتکنیکی

برای شناسایی جنس لایه‌ها و دیگر ویژگی‌های فنی خاک در نقاط انتخابی پیرامون محدوده طرح، ۴ حلقه گمانه دستی تا ژرفای ۸ متری حفر گردید. همزمان با پیشرفت حفاری، آزمون‌های صحرایی نفوذ استاندارد و چگالی صحرایی انجام شد. برای آزمون‌های تکمیلی در آزمایشگاه نیز نمونه‌برداری‌هایی صورت گرفت. مختصات

تنش مؤثر در گستره دشت می‌تواند باعث نشست منطقه‌ای شود اما نه به صورت خطی که هم‌اکنون در شهرک طالقانی دیده می‌شود. این در حالی است که افت سطح آب زیرزمینی آبخوان در مناطق دیگر نیز بیشتر است، بدون آن که نشستی را تجربه کرده باشد.

یکی از اقدامات انجام شده برای بررسی علت نشست خطی زمین در شهرک طالقانی، تعیین مسیر قنات اشتهارد بود تا مشخص شود که آیا محدوده شهرک طالقانی محل عبور کوره‌ها و میله‌های این قنات بوده است یا خیر؟ در این زمینه با افراد محلی و قدیمی‌های شهر از محل پیدایش قنات تا محدوده میدان بسیج پرس و جو شد. در این میان مشخص شد که مظهر قنات مزرعه اشتهارد در ضلع شمالی خیابان چمران (جلوه سابق) روبروی کتابخانه کنونی شهر قرار داشته و مسیر آن از محدوده شهرک طالقانی می‌گذشته است. این قنات از دهه ۱۳۴۰ به دلایل مختلف و به تدریج غیر قابل استفاده شده است (شکل ۹).

بنا به گفته خبرگان محلی، به دلیل تخریب میله‌ها و کوره‌های قنات مزرعه اشتهارد و غیر قابل ترمیم شدن آنها، میله‌ها و کوره‌های دیگری حفاری شده که هدایت آب را در آنها میسر می‌کرده است. این امر موجب شده است که میله‌ها و کوره‌ها در محدوده شهرک طالقانی به تعداد نامشخص و به صورت مدفون وجود داشته باشند و احتمال دارد که هر کدام از میله‌های قنات، خود نقطه شروعی برای نشست‌های بعدی در شهر باشد.

### ۳-۵. بحث درباره احتمال ورود پساب‌های شهرک صنعتی و منازل مسکونی به قنات اشتهارد

آب مورد نیاز روزانه واحدهای صنعتی شهرک صنعتی اشتهارد ۸۰ لیتر در ثانیه و حجم پساب‌های متصل به سامانه تصفیه فاضلاب آنها نیز ۳۲ لیتر در ثانیه است که با ورود به سامانه تصفیه، سرانجام به مصرف فضای سبز می‌رسد. برای بررسی دقیق‌تر، نوسانات سطح آب طی یک دوره ۵ ساله (۸۳-۱۳۷۹) در پیرومتر جنوب‌باختری شهر اشتهارد که در فاصله ۱۱۶ متری یکی از میله‌های قنات اشتهارد قرار دارد مورد بازبینی قرار گرفت و نشان داد که برآیند آن سیر نزولی دارد. به همین علت ورود پساب‌های صنعتی به درون قنات اشتهارد در این دوره ۵ ساله منفی اعلام شد (شکل ۷).

بیشترین دفع فاضلاب خانگی در شهرک طالقانی با استفاده از روش سنتی چاه جذبی صورت می‌گیرد. مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی آبخوان برای بخش‌های اشباع و غیراشباع به ترتیب  $(k = 1.697 \times 10^{-2} \text{ cm/sec})$  و  $(k = 8.487 \times 10^{-3} \text{ cm/sec})$  ارزیابی شد. با توجه به شیب هیدرولیکی ایجاد شده با سطح آب زیرزمینی در ژرفای ۳۵ متری، سوی جریان آب نفوذی نیز باید عمودی باشد تا خود را به شرایط کمینه پتانسیل یعنی به ژرفای ۳۵ متری برساند. بنابراین، تا ژرفای ۳۵ متری، تجمع آب نفوذی ایجاد نخواهد شد، مگر این که وجود عدسی‌هایی از لایه‌های غیرقابل نفوذ رس، سد راه آب‌های نفوذی شود. همچنین، ورود پساب خانگی به درون چاه‌های جذبی یک فرایند پیوسته به شمار می‌رود که از ابتدای تأسیس شهرک طالقانی تا حال حاضر به درون چاه‌های جذبی هدایت شده است. به این ترتیب می‌توان بیان کرد که چون فرونشستی در نقاط کناری مشاهده نشده است، ورود پساب خانگی به درون چاه‌های جذبی به تنهایی هم نمی‌تواند به عنوان عاملی برای به وجود آمدن فرونشست به شمار آید، اگر چه تأمین‌کننده رطوبت لازم برای رخداد واگرایی خاک است.

### ۴-۵. کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی

در محدوده شهرک طالقانی هدایت الکتریکی رسوبات یا خاک در مهر ماه ۱۳۸۱  $\mu\text{s/cm}$  ۳۷۰۰ و اردیبهشت ۱۳۸۲  $\mu\text{s/cm}$  ۴۵۰۰ بوده است (Tehran Regional Water Authority, 2005b). یعنی در مدت ۸ ماه، مقدار آن به میزان  $\mu\text{s/cm}$  ۸۰۰ افزایش یافته است. میزان کلرور اردیبهشت ۱۳۸۲،  $\text{mg/lit}$  ۸۰۰ و مقدار TDS اردیبهشت ۱۳۸۲،  $\text{mg/lit}$  ۲۸۵۰ است. املاح فراوان و کیفیت نامناسب

(جدول‌های ۱ تا ۶)، در راستای قابلیت واگرایی خاک‌ها انجام شد. در این طرح، با انجام آزمایش‌های هیدرومتری مضاعف و با استفاده از فرمول ۲، خاک‌های واگرا و غیر واگرا از هم قابل تشخیص هستند:

$$(2) \quad \%s_{\text{gnu}} / \%s_{\text{gu}} = \text{درصد واگرایی}$$

که در آن  $s_{\text{gnu}}$  ذرات ته‌نشین شده با قطر  $0.005$  میلی‌متر بدون استفاده از مواد جداکننده و  $s_{\text{gu}}$  ذرات ته‌نشین شده با قطر  $0.005$  میلی‌متر با استفاده از مواد جداکننده است.

نتایج آزمایش‌های هیدرومتری مضاعف که در راستای قابلیت واگرایی خاک‌ها انجام می‌شود، واگرایی نسبی خاک‌ها را نشان می‌دهد. این موضوع، با توجه به بالا بودن مقادیر املاح معدنی در منطقه (به ویژه منیزیم)، طبیعی به نظر می‌رسد. بنابراین، می‌توان خاک‌ها را در رده واگرا و نیمه‌واگرا قرار داد.

### ۲-۵. ویژگی‌های هیدرودینامیکی آبخوان آبرفتی محدوده مورد مطالعه

قابلیت انتقال آبخوان آبرفتی دشت اشتهارد در محدوده خیابان‌های شهید باهنر و رجایی، از ژرفای ۳۰ متری از سطح زمین معادل  $1100$  متر مربع در روز (Tehran Regional Water Authority, 2005b) و ضریب نفوذپذیری نیز  $0.1697$  سانتی‌متر بر ثانیه  $(k = 1.697 \times 10^{-2} \text{ cm/sec})$  است که مربوط به ذرات ریز ماسه همراه با سیلت و رس است. اگر مقدار ضریب نفوذپذیری برای لایه غیر اشباع بالایی معادل  $50\%$  لایه اشباع در نظر گرفته شود، مقدار ضریب نفوذپذیری لایه غیر اشباع  $0.08487$  سانتی‌متر بر ثانیه  $(k = 8.487 \times 10^{-3} \text{ cm/sec})$  خواهد شد که مربوط به مخلوط ماسه، سیلت و رس است.

با بررسی نقشه هم‌ارتفاع مطلق طاق سنگ کف (Tehran Regional Water Authority, 2005b) در محدوده باختری اشتهارد، سنگ کف در ارتفاع بیش از  $1075$  متر قرار دارد که در مقایسه با ارتفاع توپوگرافی آن، ژرفای سنگ کف  $125$  متر به‌دست می‌آید. جنس سنگ کف نهشته‌های رسوبی پلیکوآترنر  $PLQ^C$  از کنگلومرای سست با میان‌لایه‌های ماسه، سیلت و رس است که با دگرشیبی بر روی نهشته‌های رسوبی نوژن ( $M^{msl}$ ) از جنس مارن سرخ با میان‌لایه‌های ژیبس و نمک، ماسه‌سنگ و سیلتستون سبز و آهک نازک‌لایه قرار دارد (شکل ۴).

در محدوده شهر اشتهارد ۴ حلقه چاه پیرومتری با مختصات سامانه متری (UTM) به ترتیب طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی شامل پیرومتر جنوب‌باختری اشتهارد ( $3952980$ – $440810$ )، پیرومتر خاوری اشتهارد ( $3953680$ – $444610$ )، پیرومتر جاده محمدیار ( $3950880$ – $447340$ ) و پیرومتر شمال‌خاوری امامزاده سلیمان ( $3954170$ – $449390$ ) در سال  $1376$  حفاری شده است که به تقریب نماینده تغییرات سطح آب زیرزمینی در محدوده شهر است. اما در شمال یا شمال‌باختری و جنوب آن چاه پیرومتری حفر نشده و نبود چاه پیرومتر در این نقاط با توجه به حساسیت مسایل و مشکلات شهری، در خور توجه است. نوسانات ماهانه ژرفای آب زیرزمینی پیرومترهای بالا در شکل ۵ ارائه شده است. شکل ۷ تغییرات سطح آب زیرزمینی از سطح بلندی دریا و نوسانات ژرفای آن را از سطح زمین در پیرومتر جنوب‌باختری اشتهارد نشان می‌دهد که با کاهش ارتفاع سطح آب زیرزمینی بر ژرفای آن افزوده شده است (Tehran Regional Water Authority, 2003; 2005c).

بر اساس هیدروگراف واحد پیرومترهای جنوب‌باختری و خاور شهر اشتهارد، اختلاف تراز سطح آب زیرزمینی به ترتیب معادل  $8/41$  m و  $2/62$  m و میانگین حجم بهره‌برداری غیرمجاز در محدوده زیر پوشش آنها نیز به ترتیب معادل  $4/5$  و  $0/5$  میلیون متر مکعب در سال است (شکل ۸) (Tehran Regional Water Authority, 2003; 2005b).

نوسانات سطح آب زیرزمینی از سال  $1379$  تا  $1384$ ، به ترتیب در ژرفاهای بیش از  $30$  و  $35$  متری بوده است. این مقدار افت جبران نشده سطح آب زیرزمینی، با کاهش

تماس با سیالات، دچار فرسایش و یا واگرایی می‌شود. وزن مخصوص صحرایی و آزمایشگاهی به روش پروکتور نیز سستی خاک را تأیید می‌کند.

قنات خشک مدفون در شهر اشتهارد در نتیجه برخورد آبخوان از مدیریت توانمند منابع آب زیرزمینی در درازمدت ایجاد شده است. به گونه‌ای که اختلاف تراز سطح آب زیرزمینی در هیدروگراف واحد پیژومترهای جنوب‌باختری و خاور شهر اشتهارد به ترتیب معادل ۸/۴۱- متر و ۲/۶۲- متر است و میانگین حجم بهره‌برداری غیرمجاز سالانه در محدوده تحت پوشش آنها معادل ۴/۵- و ۰/۵- میلیون متر مکعب است. در بررسی‌های انجام شده، مشخص شد که ورود پساب‌های شهرک صنعتی اشتهارد به درون قنات اشتهارد در دوره ۵ ساله (۸۳-۱۳۷۹) منفی است و کاهش سطح آب زیرزمینی، تنها در دراز مدت و به صورت منطقه‌ای می‌تواند در تنش مؤثر نقش اساسی داشته باشد.

در میان روش‌های ژئوفیزیکی روش ژئوالکتریک، قنات قدیمی اشتهارد را در ژرفای ۱۵ متری ثبت کرد. وجود این قنات با واگرایی خاک بالایی آن، باعث نشست خطی شده است.

با توجه به این که برای گسترش شهر اشتهارد (با وجود کوره‌ها و میله‌های مدفون قنات) به وضعیت ژئوتکنیکی محل‌های انتخاب شده توجهی نشده است، خاک شهرک طالقانی پتانسیل لازم را داشته است تا با ورود آب از شبکه آبرسانی و پساب خانگی به درون چاه‌های جذبی، به‌عنوان عاملی برای تأمین رطوبت لازم و سرعت‌دهنده واگرایی خاک با مقادیر قابل توجه املاح معدنی، نشست را تجربه کند.

### سیاسگزاری

تهیه‌کنندگان این پژوهش از کمک‌های همکاران محترم آقایان مهندس مسعود عبدلی، مهندس مهرزاد خندان، مهندس فیروز جعفری و مهندس اصغر صادقی و تکنسین‌های محترم آقایان احمد راصدی و فرامرز اله‌وردی که در بخش‌های مختلف این طرح، یاور ما بوده‌اند سپاسگزاری می‌کنند.

آب زیرزمینی، با کاهش سطح آب زیرزمینی و اثر نهشته‌های پلیوکواترین زیرین ارتباط مستقیم دارد. نوع آب زیرزمینی نیز در جنوب اشتهارد از نوع سولفات سدیک است که به تدریج به سمت شمال به کلوروسدیک تبدیل می‌شود.

### ۵-۵. بررسی‌های ژئوفیزیکی

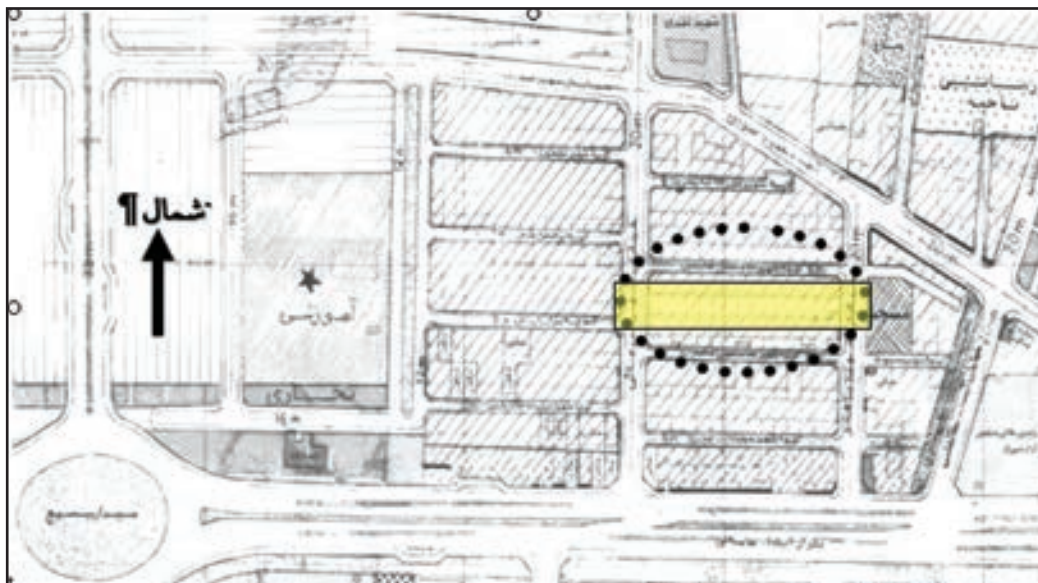
برای تعیین مسیر قنات مدفون اشتهارد در محدوده شهرک طالقانی، گروه ژئوفیزیک زمینی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی VLF (Very Low Frequency)، مغناطیس‌سنجی (مگنتومتر سزیم)، ژئوالکتریک و لرزه‌ای برای مطالعات زیر سطحی اقدام کرد. در میان روش‌های استفاده شده، تنها روش ژئوالکتریک بی‌هنجاری ناشی از حفره به‌جامانده از قنات قدیمی اشتهارد را در ژرفای ۱۵ متری ثبت کرده است که تأییدی بر وجود قنات در زیر ساختمان‌های آسیب دیده است (Tehran Regional Water Authority, 2005a; 2005b).

### ۶- نتیجه‌گیری

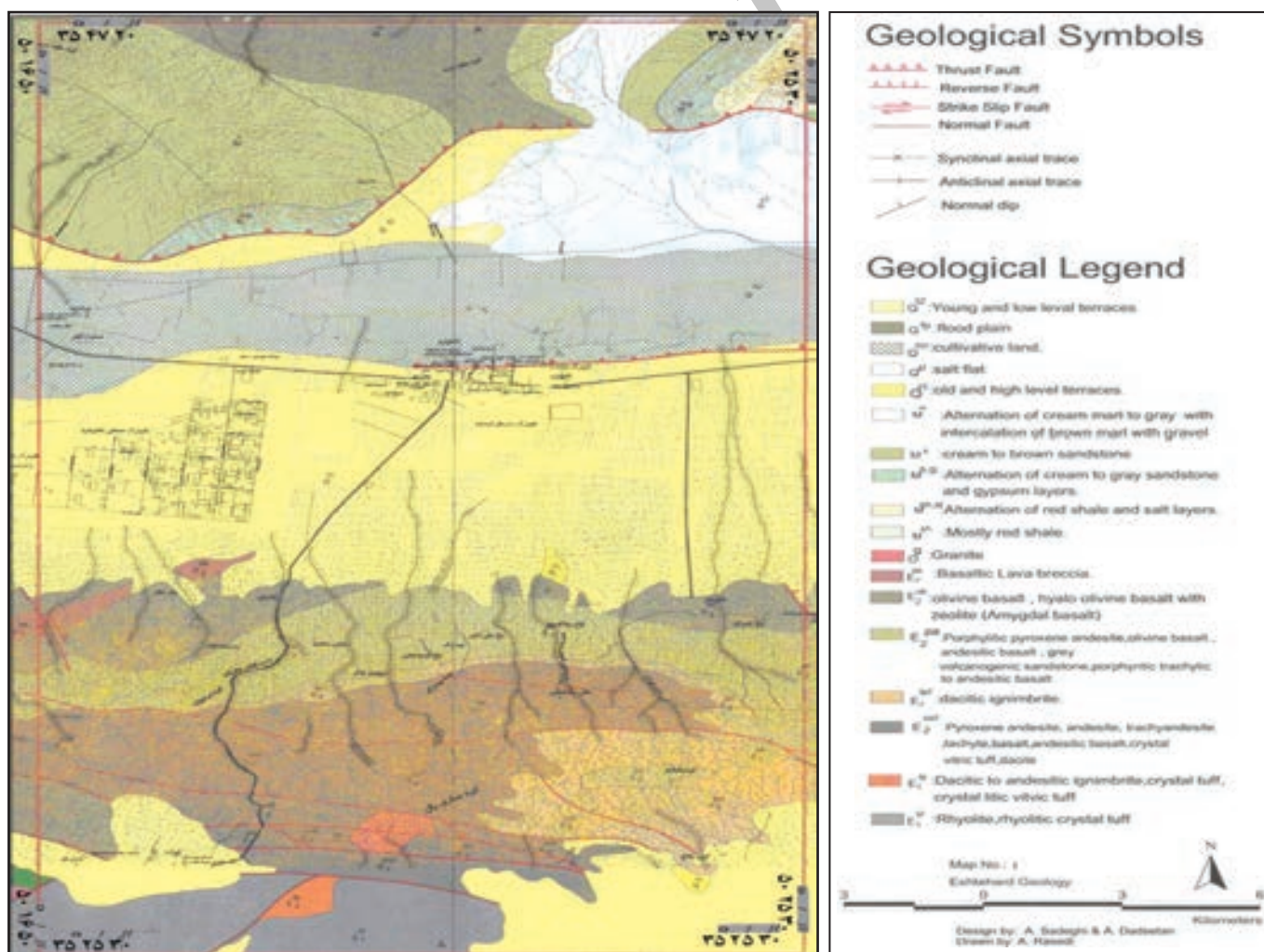
بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید، خاک‌های محدوده طرح از نوع رسی لاغر و چاق، همراه با لای و ماسه هستند. در طبقه‌بندی کیفیت خاک بر اساس مقادیر مقاومت فشاری محدود نشده ( $q_u \approx 3 \text{ kg/cm}^2$ )، در رده متوسط تا سخت قرار می‌گیرد اما به علت پوکی و تخلخل زیاد، مقدار نشست زیاد است. این نشست که در نتیجه تحکیم حاصل می‌شود، بیش از حد مجاز است و در طول زمان، با کاهش فشار آب منفذی و به‌نسبت افزایش تنش مؤثر، افزایش می‌یابد. نتایج آزمایش‌های هیدرومتری مضاعف که در راستای قابلیت واگرایی خاک‌ها انجام شد، واگرایی نسبی خاک‌ها را نشان می‌دهد. این موضوع، با توجه به محتوای بالای املاح معدنی در منطقه (به‌ویژه منیزیم)، طبیعی به‌نظر می‌رسد. بنابراین، می‌توان خاک‌های محدوده شهرک طالقانی را در رده واگرا و نیمه‌واگرا قرار داد. همچنین مقادیر آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) از نظر تراکم، در رده سخت، قرار می‌گیرد. دلیل این موضوع را می‌توان چنین توضیح داد که خاک در محل، بدون هوازدگی است و به‌محض خارج شدن و یا در



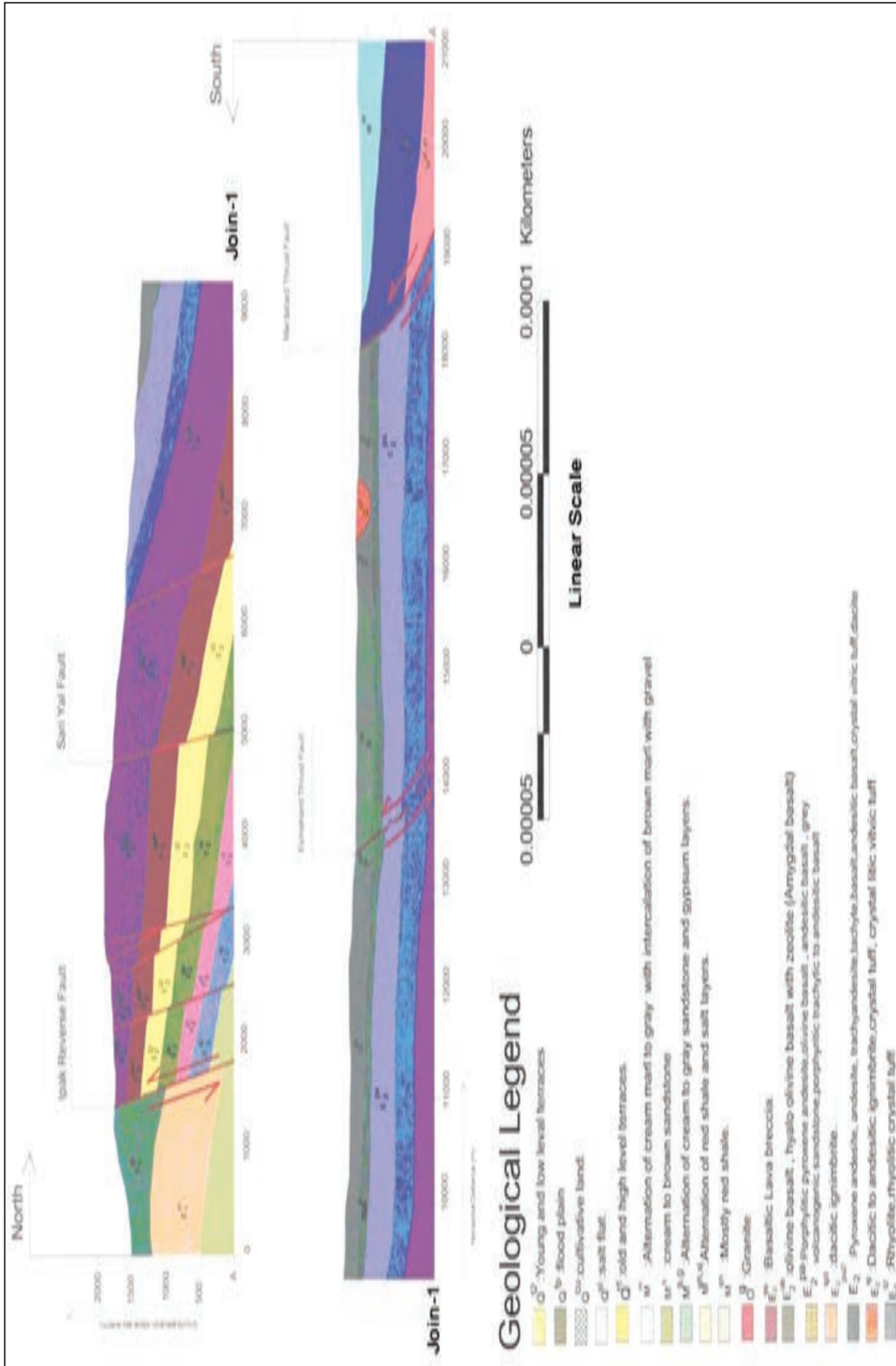
شکل ۱- مؤلفه‌های افقی و عمودی حرکت ناشی از نشست زمین و تخریب ساختمان مسکونی در شهرک طالقانی اشتهارد.



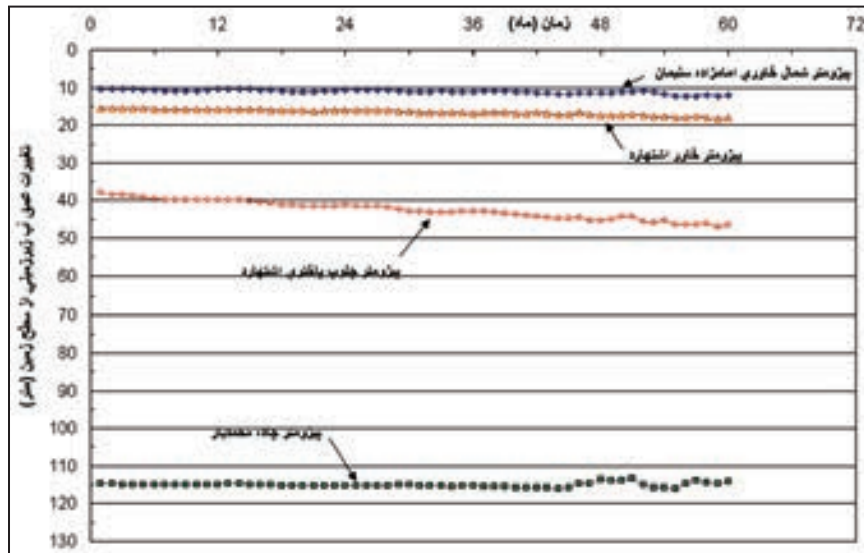
شکل ۲- موقعیت ساختمان‌های آسیب دیده شهرک طالقانی در باختر شهر اشتهارد بر روی نقشه هادی با راستای خطی و با نقطه چین نشان داده شده است.



شکل ۳- نقشه زمین شناسی محدوده اشتهارد.



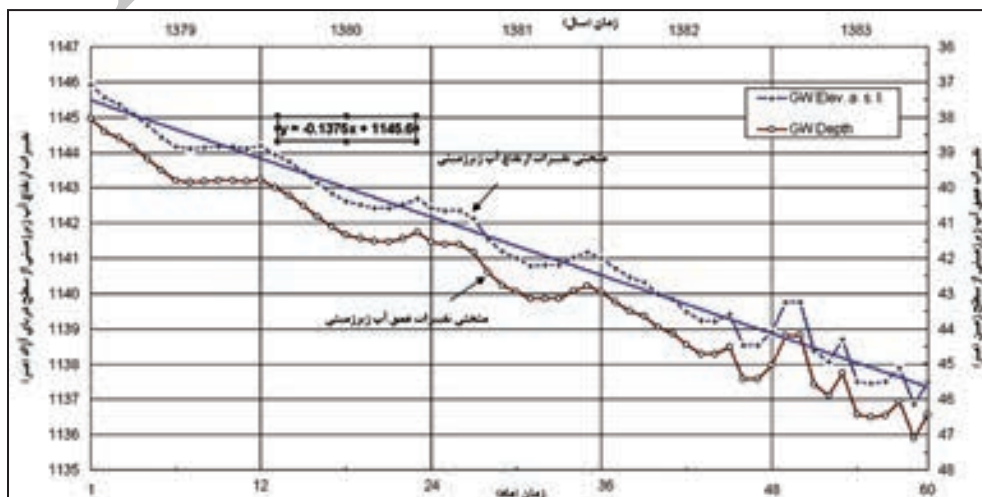
شکل ۴- نقشه نیرخ زمین شناسی محدوده اشتهارد در امتداد A-A.



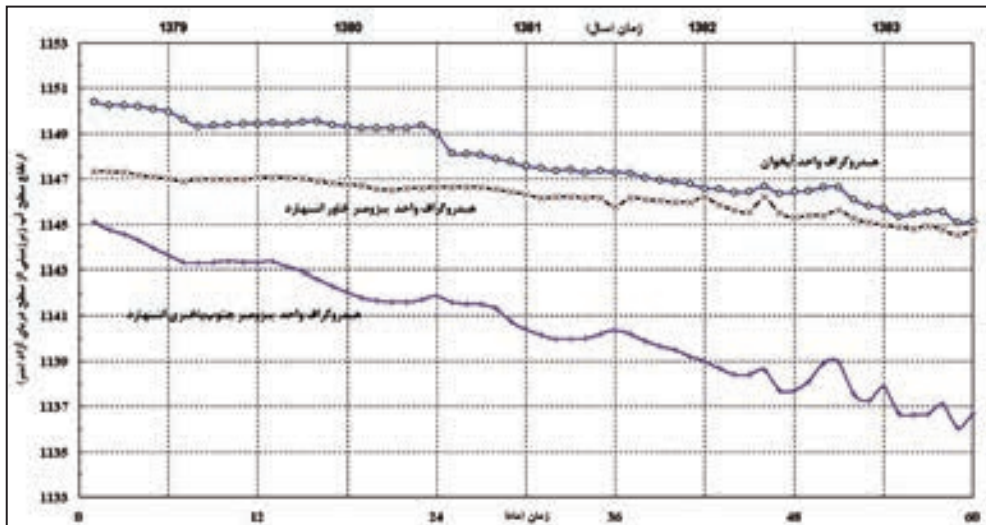
شکل ۵- نوسان ژرفای آب زیرزمینی در ۴ حلقه از چاه‌های پیزومتر آبخوان آبرفتی در محدوده شهر اشتهارد (۱۳۸۳-۱۳۷۹).



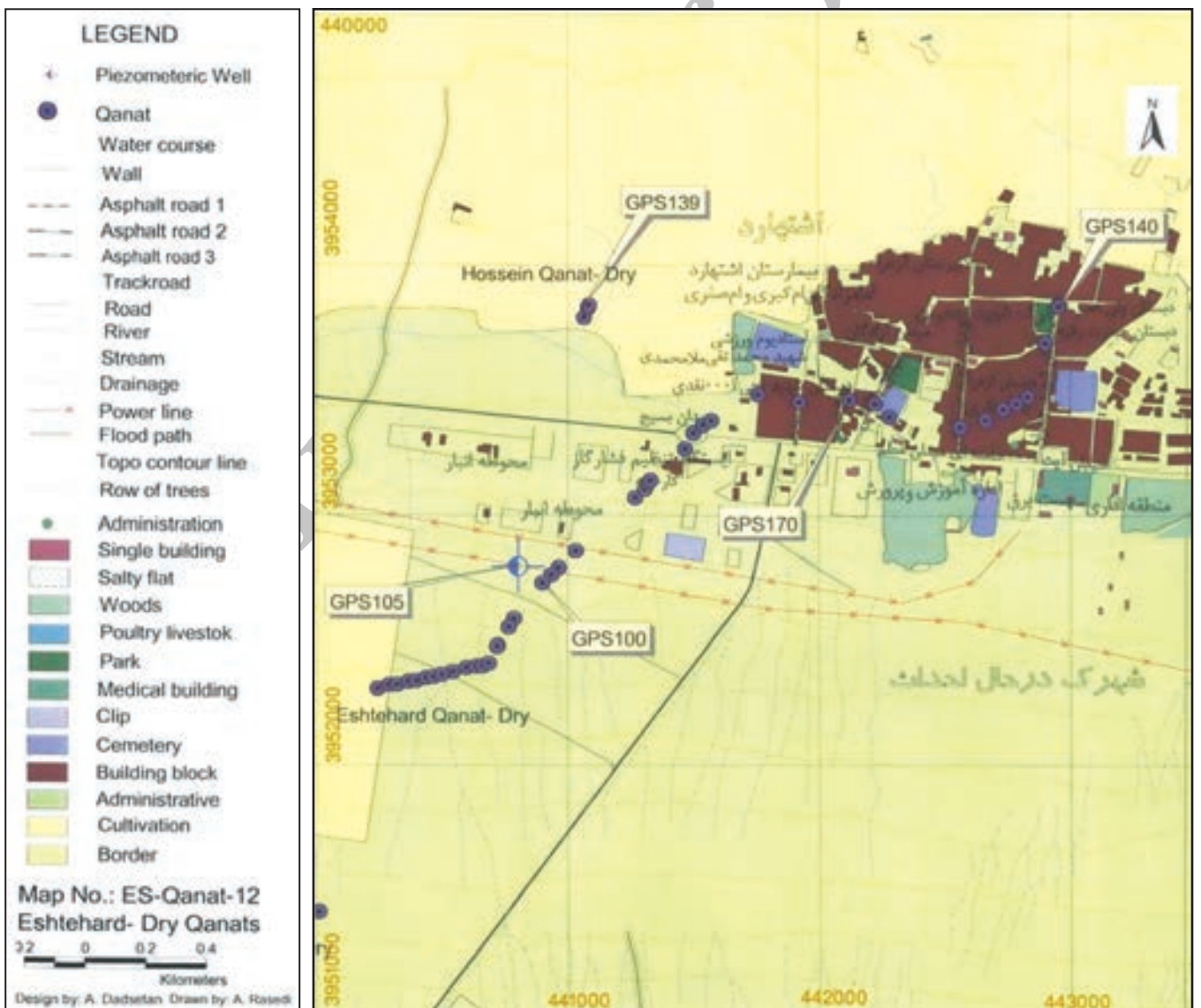
شکل ۶- نقشه موقعیت گمانه‌های ژئوتکنیکی در محدوده شهرک طالقانی اشتهارد.



شکل ۷- تغییرات ارتفاع آب زیرزمینی و نوسانات ژرفای آن در پیزومتر جنوب باختری اشتهارد (۱۳۸۳-۱۳۷۹).



شکل ۸- مقایسه تغییرات هیدروگراف واحد پیزومترهای خاوری و جنوب‌باختری شهر اشتهارد با هیدروگراف واحد آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی دشت اشتهارد (۱۳۷۹-۱۳۸۳).



شکل ۹- نقشه موقعیت میله‌های قنات در محدوده شهر اشتهارد.



جدول ۱- نتایج آزمایشگاهی نمونه خاک‌های دست‌نخورده (UNDISTURBED SAMPLE).

Bore Hole No.	Sample No.	Depth (m)	SPT No.	Moisture Content (MC) (%)		Group	Mono axial		Direct Shear		Consolidation		Compaction		Field Density	
				C (kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )		C (kg/cm <sup>2</sup> )	φ°	C <sub>c</sub>	S (cm)	γ <sub>dmax</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	γ <sub>wet</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	φ°	C <sub>c</sub>	S (cm)	
BH2	TRA-1A	2	---	14.14	CL	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	TRA-1B	3	---	16.25	CL	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	TRA-1C	4.2	---	23.42	CH	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
BH1	TRA-1F	6.3	>50	27.16	CH	1.15	2.35	0.3	23°	0.091	0.114	---	---	---	---	---
	TRA-1G	7	---	26.44	CL	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	AST-1A	1.9	---	7.56	CL	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
BH1	AST-1B	3.05	---	13.93	CL	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

جدول ۲- نتایج آزمایشگاهی نمونه خاک‌های دست‌نخورده (UNDISTURBED SAMPLE).

Bore Hole No.	Sample No.	Depth (m)	MC (%)	Group	Mono axial		Direct Shear		Consolidation		Compaction		Field Density	
					C (kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>u</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	C (kg/cm <sup>2</sup> )	φ°	C <sub>c</sub>	S (cm)	γ <sub>dmax</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	γ <sub>wet</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	γ <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	
BH3	esh-1A	0.6	11.52	CL	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	esh-1B	1.1	15.15	CL-ML	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	esh-1C	1.8	19.22	CL	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	esh-1E	3.35	18	CL-ML	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	esh-1G	5.8	21.96	CL	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	esh-1H	6.5	20.55	SM	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
BH4	esh-1J	8	25.74	CH	1.62	3.24	0.38	22°	0.045	0.058	---	---	---	---
	esh-2B	2.35	21.44	CL	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
	esh-2D	4.2	13.62	SM	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
BH4	esh-2G	8.3	25.3	CL	1.87	3.74	0.24	24°	0.029	0.063	---	---	---	---

جدول ۳- نتایج آزمایشگاهی داده‌بنیادی نمونه خاک‌های دست‌نخورده (DISTURBED SAMPLE).

Bore Hole No.	Sample No.	Depth (m)	SPT No.	MC (%)	Group	Unified Classification & Soil Description	LL (%)	PL (%)	PI (%)
BH2	TRA-1A	2	---	14.14	CL	Lean Clay with Sand	34.2	16.13	18.07
	TRA-1B	3	---	16.25	CL	Sand Lean Clay	33.3	20.05	13.25
	TRA-1C	4.2	---	23.42	CH	Fat Clay	62.1	23.68	38.42
BH1	TRA-1F	6.3	>50	27.16	CH	Fat Clay	61.6	23.57	38.03
	TRA-1G	7	---	26.44	CL	Lean Clay	44.75	19.36	25.39
	AST-1A	1.9	---	7.56	CL	Lean Clay with Sand	29.1	16.86	12.24
BH1	AST-1B	3.05	---	13.93	CL	Lean Clay with Sand	39.5	26.74	12.76

جدول ۴- نتایج آزمایشگاهی دانه‌بندی نمونه خاک‌های دست‌خورده (DISTURBED SAMPLE).

Bore Hole No.	Sample No.	Depth (m)	SPT No.	MC (%)	Group	Unified Classification & Soil Description	LL (%)	PL (%)	PI (%)	PH	Cl (%)	SO <sub>4</sub> (%)
BH3	esh-1A	0.6	---	11.52	CL	Lean Clay with Sand	39.82	28.98	10.84	---	---	---
	esh-1B	1.1	---	15.15	CL- ML	Silty Clay	37.85	33.09	4.76	---	---	---
	esh-1C	1.8	>50	19.22	CL	Lean Clay	35.81	26.64	9.17	7.3	0.5	13.28
	esh-1E	3.35	>50	18	CL- ML	Gravelly Silty Clay	35.8	29.66	6.14	---	---	---
	esh-1G	5.8	---	21.96	CL	Lean Clay	39.82	28.98	10.84	---	---	---
	esh-1H	6.5	---	20.55	SM	Silty Sand	NONE	NONE	NONE	---	---	---
	esh-1J	8	---	25.74	CH	Fat Clay	54.6	27.19	27.41	---	---	---
BH4	esh-2B	2.35	>50	21.44	CL	Lean Clay	47.2	25.82	21.38	7.3	0.18	26.81
	esh-2D	4.2	---	13.62	SM	Silty Sand	NONE	NONE	NONE	---	---	---
	esh-2G	8.3	>50	25.3	CL	Lean Clay	45.6	25.5	20.09	---	---	---

جدول ۵- نتایج تجزیه شیمیایی نمونه خاک گمانه اکتشافی.

جدول ۶- نتایج کانی‌شناسی (XRF) نمونه خاک گمانه‌های اکتشافی.

	BH3	BH4
pH in 20 °C	7.3	7.3
TDS	---	---
Cl	0.50%	0.18%
SO <sub>4</sub>	13.28%	26.81%
Mg	---	---

Composition Formula	BH <sub>2</sub> Con. (%)	Composition Formula	BH <sub>2</sub> Con. (%)
Li <sub>2</sub> O	32.29	SO <sub>3</sub>	0.29
Na <sub>2</sub> O	0.45%	K <sub>2</sub> O	0.88
MgO	1.24%	CaO	43.24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.95	TiO <sub>2</sub>	0.28
SiO <sub>2</sub>	13.81	MnO	0.07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.07	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.65

## References

- Abbasnezhad, A., 2004- Karst sinkhole in Ekhtiarabad, NW Kerman, Geoscences, Vol. 12 No. 51-52, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.
- American Society for Testing and Material, 2006- ASTM Standard, Section. 4, Vol. 04.08, Philadelphia, Pa.
- Anvari, M. A. & Noroollahian, H., 2007- New approach to ground subsidence in Mashhad plain, 86 Geomatics Symposium, NCC.
- Dadsetan, A., Rezaie, F., Sadeghi, A., Abdoli, M., Khandan, M., Jaferi, F., Rasedi, A. & Allahverdi, F., 2005- Ground linear subsidence in Taleghan area of Eshtehard city; exploring the causes, consequents and recommendations, Report of Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran, Iran.
- Dadsetan, A., Soltani, I. E. & Bolourchi, M. J., 2005- Preliminary investigation of sinkholes occurrence and their hazards in Kabudar Ahang, Famenin and Hamekasi plains (Hamedan Province), Proceedings of the conference on hazards of sinkholes in karst terrains with emphasis on sinkholes of Hamedan, West Regional Water Authority.
- Das, B. M., 1994- Advanced soil mechanics, Translated by Yazdchi M., University of Tehran press.
- Das, B. M., 1998a- Principles of Foundation Engineering, Translated by Tahouni S., University of Tehran press, Vol. 2.
- Das, B. M., 1998b- Principles of Geotechnical Engineering, Translated by Tahouni S., University of Tehran press, Vol. 1.
- Rahnema, M. B. & Kazemi, A., 2006- Ground Subsidence due to groundwater level in Rafsanjan plain, First National Symposium of Irrigation and Drainage Networks Management, Kerman University.
- Shemshaki, A. & Soltani, I. E., 2005- An outline causes of occurrence ground subsidence in SW Tehran, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.
- Shemshaki, A., Bolourchi, M. J. & Ansari, F., 2005- Ground subsidence Evaluation in Tehran- Shahryar plain, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.
- Tehran Regional Water Authority, 2003- Proposal Jastification report of respite impermissible of Eshtehard plain.
- Tehran Regional Water Authority, 2005a- Geophysical prospecting of Eshtehard plain, Toseyeh Olom Zamin Co.
- Tehran Regional Water Authority, 2005b- Semicomprehensive groundwater studies of Eshtehard plain, Vol. 1, 2 and 3, Abkhan Consulting Eng. Co.
- Tehran Regional Water Authority, 2005c- Statistical report of surface and ground Water resources and utilities of the 7 studies area under coverage of General Office affairs of Tehran Province water, Eshtehard area, Lar Consulting Eng. Co.
- USGS, 2000- Land Subsidence in United States, Fact Sheet- 165- 00, Internet Paper, Winter 2008.
- Yousefi, M., 2000- Geological map of Eshtehard, Scale 1/100000, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.

## Evaluation of Gradual Ground Linear Subsidence and Geotechnical Parameters Assessment in the Taleghani Site of Eshtehard

F. Rezaie<sup>1\*</sup> & A. Dadsetan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.

<sup>2</sup>Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.

Received: 2007 November 27

Accepted: 2010 January 24

### Abstract

Ground subsidence in eastern part of Eshtehard, built on the alluvial deposits, is linear and gradual. Preparing geological map and profiles; we studied the structural geology of the area. The sort and situation of aquifer, evolution of ground water levels and hydrochemistry were studied and the presence of ancient channel was detected by geoelectric method. The geotechnical studies suggest that the soils in the area (USCS Classification) belong to Lean clay (CL), Fat Clay (CH) and Silty Sand (SM). The maximum soil settlement is more than allowable settlements and soils recognized to be dispersive to semi-dispersive soils. The possible entrance of waste water from Eshtehard Industrial town into Eshtehard Qanat, from septic wells and transfer water system seems to provide necessary moisture for dispersive soils and have caused the subsidence in the area. Hydrogeology of alluvial aquifer was evaluated and indicates a negative debit. Although the hydrographs of piezometric wells are not compensated but it display any role in linear subsidence. Soils prone to dispersion by infiltration of water from septic wells and urban water system and the presence of ancient Qantas hidden in the depth of 15 meters caused linear ground subsidence. The results of this study show the development of ancient Eshtehard city and the selection of new site was not carried out on the geotechnical basis. Therefore it is recommended that before constructing any projects, geotechnical studies are necessary.

**Keywords:** Linear Subsidence, Dispersive, Groundwater Hydrology, Eshtehard

For Persian Version see pages 3 to 12

\*Corresponding author: F. Rezaie; E-mail: rezaie8@yahoo.fr

## New Structural Evidence of Alborz Fault (North Qom), Evidence for Transfer of Inversion from Central-West Alborz Faults to the Same Oriented Faults in South Alborz

R. Elyaszadeh<sup>1\*</sup>, M. Mohajjel<sup>2</sup>, B. Farahani<sup>3</sup>, S.R. Jafari<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Geological Survey of Iran, Tabriz, Iran

<sup>2</sup> Department of Geology, Faculty of Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

<sup>3</sup> Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

<sup>4</sup> Department of Geology, Payam-e-Noor University, Tehran, Iran

Received: 2009 October 26

Accepted: 2010 May 04

### Abstract

Structural analysis of the NW-SE oriented Alborz fault in north Qom, demonstrates young left-lateral reverse displacement evidence, based on the rake of the striations on young fault planes ( $45^{\circ}$ - $53^{\circ}$ ). Strong structural evidence exists for its previous right-lateral reverse displacement. Young left-lateral displacement evidence in NW-SE oriented oblique and strike-slip faults recently was documented in central-west (eg. Moshā and Talegan faults) and south Alborz mountains (eg. Ipak and Kusk-e-Nosrat faults) due to the compression direction of the south Caspian oceanic crust with Alborz mountains. Replacement of right-lateral reverse mechanism by young left-lateral reverse mechanism in the Alborz fault in north Qom implies that the inversion of the central-west Alborz faults is being transferred through to the same oriented faults in south Alborz mountain up to the Qom area.

**Keywords:** Alborz fault, Alborz, Strike - slip faults, Qom

For Persian Version see pages 13 to 22

\*Corresponding author: R. Elyaszadeh; E-mail: Ramin403@yahoo.com