

طرح بررسی مخاطرات ناشی از فرونشست زمین در استان‌های تهران
خراسان رضوی، کرمان، اصفهان و قزوین



شرکت توسعه علوم زمین

گزارش بررسی مخاطرات ناشی از فرونشست زمین
در جنوب غرب استان تهران

مطالعات ژئوتکنیک در گستره دشت جنوب غربی تهران

مجری: محمدرضا قاسمی

مجری فنی: محمد جواد بلورچی



طرح: بررسی مخاطرات ناشی از فرونشست زمین در استانهای تهران خراسان رضوی،

کرمان، اصفهان و قزوین

کارفرما: سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

مشاور: شرکت توسعه علوم زمین

مدت انجام: ۱۲ ماه از تاریخ امضاء و مبادله قرارداد

تاریخ شروع عملیات صحرائی: ۱۳۸۵/۱۲/۲۵

تاریخ پایان عملیات صحرائی: ۱۳۸۷/۰۱/۳۰

هدف: بررسی مخاطرات ناشی از فرونشست زمین در استان تهران

عنوان گزارش (شماره ۱): مطالعات ژئوتکنیک در گستره دشت جنوب غربی تهران

هدف گزارش (شماره ۱): جمع آوری اطلاعات ژئوتکنیکی در ارتباط با پدیده فرونشست در

استان تهران

وسعت منطقه مورد مطالعه: جنوب غرب استان تهران

تجهیزات مورد استفاده در این بخش از مطالعات: تجهیزات حفاری و لوازم آزمایشگاه

ژئوتکنیک

تعداد نسخه‌ها: ۱۱



مقدمه

پیرو قرارداد شماره ۱۳۸-۲۰۰ به تاریخ ۸۷/۰۱/۲۰ در رابطه با مطالعات زمین شناسی مهندسی و مطالعات لرزه‌شناسی در گستره استان تهران، این مطالعات توسط گروه تخصصی زمین‌شناسی مهندسی و گروه ژئوفیزیک مهندسیین مشاور توسعه علوم زمین آغاز گردید.



شماره صفحه

فهرست مطالب

۱	فصل ۱- کلیات
۲	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- محل پروژه
۵	۳-۱- ادبیات فنی
۵	۱-۳-۱- نشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی در جهان
۹	۲-۳-۱- نشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی در ایران
۱۰	۳-۳-۱- مکانیزم نشست
۱۳	۴-۳-۱- اکتشافات زیر سطحی
۱۷	۴-۱- چگونگی انجام عملیات حفاری
۱۷	۵-۱- نمونه برداری
۱۷	۶-۱- آزمایش‌های پیش‌بینی شده
۱۸	۱-۶-۱- آزمایش‌های صحرایی
۱۸	۲-۶-۱- آزمایش‌های آزمایشگاهی
۱۹	۷-۱- ابزار دقیق پیش‌بینی شده
۲۰	۱-۷-۱- فشارسنج‌های آب‌منفذی
۲۴	۲-۷-۱- ابزارهای اندازه‌گیری جابجایی افقی و قائم خاک
۲۷	۸-۱- برنامه زمان‌بندی و تعداد دستگاه‌ها

شماره صفحه

فهرست اشکال

۳	شکل ۱-۱- محل حفر گمانه‌ها در محدوده مورد مطالعه
۸	شکل ۲-۱- محل تقریبی نقطه ای در امریکا در جنوب غرب مندوتا
۱۱	شکل ۳-۱- کاهش حجم لایه ریزدانه و نازک شدن آن در اثر زهکشی
۱۱	شکل ۴-۱- رابطه بین تنش کل و موثر
۱۲	شکل ۵-۱- مقایسه بین تغییر شکل قائم رس با خاصیت تراکم پذیری
۱۳	شکل ۶-۱- دستگاه حفاری دورانی سوار بر کامیون
۱۴	شکل ۷-۱- (الف) اوگر پلکانی و (ب) اوگر سطلی
۱۵	شکل ۸-۱- روش‌های کنترل خاک‌های حفره‌زا یا فشارنده
۱۶	شکل ۹-۱- حفاری شستشویی دورانی
۲۱	شکل ۱۰-۱- اجزای پیزومتر تار لرزان (ساخت شرکت انکاردیورایت)
۲۲	شکل ۱۱-۱- آماده‌سازی پیزومتر (اتصال کابل به سنسور، لحیم‌کاری)
۲۲	شکل ۱۲-۱- مقطع اجزای نصب شده یک پیزومتر تار لرزان



۲۳	شکل ۱-۱۳- دستگاه واحد قرائت جهت قرائت ابزار تار مرتعش
۲۴	شکل ۱-۱۴- کیسینگ ABS به همراه کولپینگ‌های ثابت و متحرک
۲۵	شکل ۱-۱۵- وارد کردن پروب انحراف‌سنج در رابط (کولپینگ) کیسینگ‌ها ...
۲۶	شکل ۱-۱۶- دستگاه داده نگار (Data logger) انحراف‌سنج
۲۶	شکل ۱-۱۷- نشست‌سنج‌های عنکبوتی در اطراف لوله کیسینگ
۲۷	شکل ۱-۱۸- دستگاه سونداژ مدل EDS-91/2.1 جهت اندازه‌گیری ...
۲۹	آلبوم عکس

شماره صفحه

فهرست جداول

۴	جدول ۱-۱- مشخصات محل گمانه‌ها
۷	جدول ۱-۲- مشخصات نشست در اثر افت سطح آبهای زیرزمینی ...



فصل اول

کلیات



۱-۱- مقدمه

آنچه در این نوشتار آمده است، گزارش نهایی عملیات حفاری انجام شده در رابطه با بررسی پروژه بررسی فرونشست جنوب غرب تهران می باشد. برداشت بی رویه و بدون نظارت صحیح از آب های زیر زمینی این ناحیه در سال های اخیر باعث ایجاد افت شدید آب و در نتیجه نشست زمین گردیده است. نشست های حاصله طی تصاویر ماهواره ای که در سال های اخیر از این محدوده اخذ شده است به خوبی چنین روندی را نشان می دهد. این شواهد با رخداد ترک ها در برخی سازه های موجود در دشت مورد مطالعه به خوبی حمایت می شود.

طبق اطلاعاتی که به صورت شفاهی در اختیار این مشاور قرار گرفته است، در این دشت برنامه اکتشافات زیرسطحی غیرمستقیم یا اکتشافات ژئوفیزیکی نیز در دستور کار قرار دارد، لیکن به علت عدم دقت کافی و نتایج بسیار کیفی چنین مطالعاتی، انجام عملیات گمانه زنی اکتشافی ضروری به نظر می رسد. در این پروژه سعی شده است با انجام عملیات حفاری ژئوتکنیکی، وضعیت خاک و لایه های زیرسطحی و تراز آب زیرزمینی و به عبارتی نیمرخ زمین در این ناحیه ترسیم شده تا در مطالعات نشست و تصمیم گیری های آتی مورد استفاده قرار گیرند.

از آنجایی که رفتارنگاری نشست و تراز آب زیرزمینی در طی مراحل مطالعه و پس از آن می تواند در تصمیم گیری های کلان جهت اجرای پروژه های عمرانی ایمن، کاربری اراضی و نیز مطالعات بعدی بسیار مفید واقع شود، نصب تعدادی فشارسنج آب (پیزومتر) و نشست سنج خاکی در گمانه های حفر شده پیش بینی شده است.

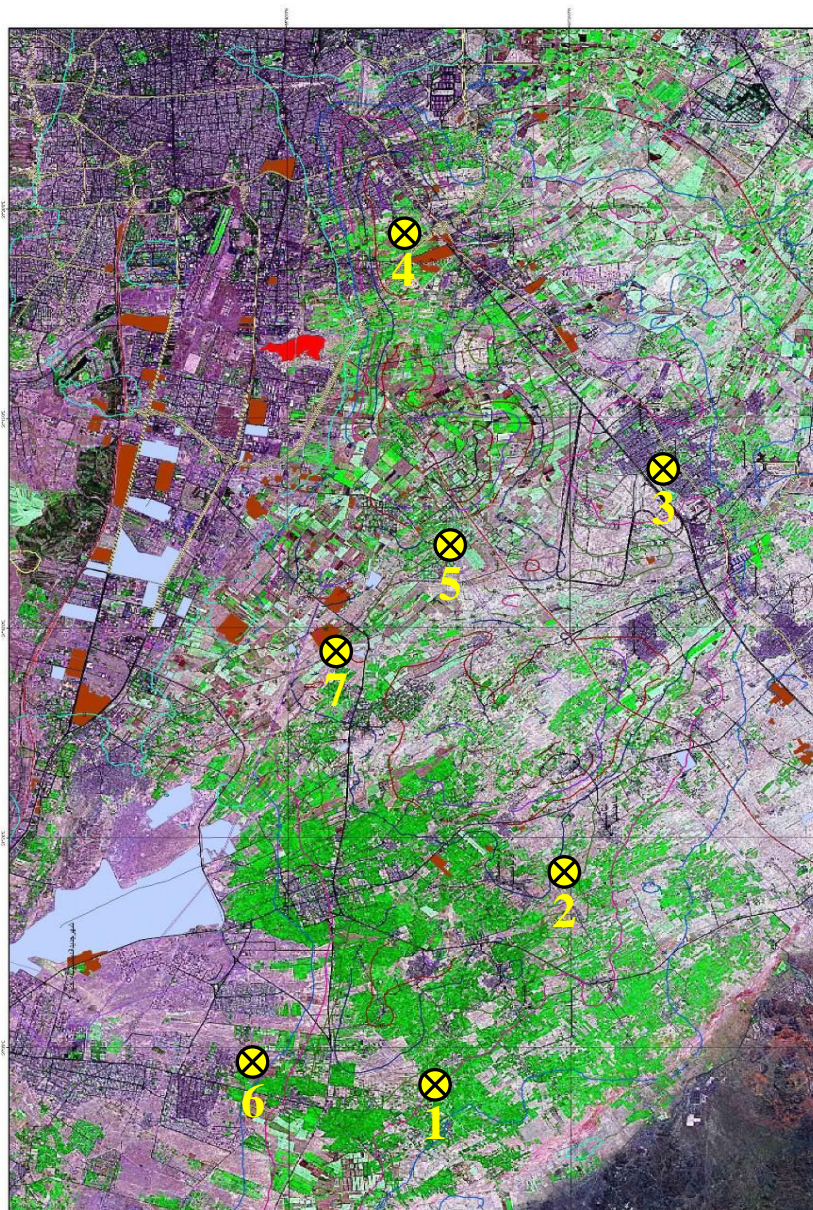
۱-۲- محل پروژه

منطقه مورد مطالعه در محدوده جنوب غرب تهران و به طور عمده در دشت شهریار قرار دارد. نقشه محدوده و مختصات نقاط حفاری در شکل ۱-۱ و جدول ۱-۱ ارائه شده است.

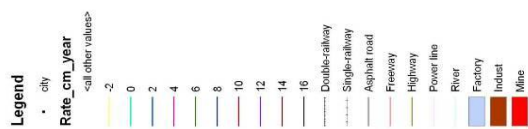


وزارت صنایع و معادن
سازمان زمین شناسی و
اکتشافات معدنی کشور
Geological Survey of Iran
معاونت زمین شناسی مهندسی و زیست محیطی
گروه زمین شناسی مهندسی

طرح بررسی مخاطرات ناشی از فرونشست زمین
نقشه نرخ فرونشست دشت تهران



نقشه کننده
محمد جواد پاتیر
M.J.Bolourchi, E.Pathier



شکل ۱-۱- محل حفر گمانه‌ها در محدوده مورد مطالعه



جدول ۱-۱- مشخصات محل گمانه‌ها

ردیف	نام محدوده	موقعیت تقریبی (UTM)	عمق گمانه (متر)	ابزار دقیق مورد نیاز	ملاحظات
۱	شهرداری بردآباد	X: 503252 Y: 3942527	۷۰	پیزومتر	اتمام حفاری
۲	صبا شهر	X:509921 Y: 3937219	۱۰۰	نشست سنج + پیزومتر	اتمام حفاری
۳	فرمانداری اسلامشهر	X: 522608 Y: 3934932	۱۰۰	پیزومتر	اتمام حفاری
۴	منطقه ۱۸ شهرداری تهران	X: 525503 Y:3944766	۱۰۰	نشست سنج + پیزومتر	اتمام حفاری
۵	عوارضی ساوه	X: 521352 Y: 3942313	۱۰۰	پیزومتر	اتمام حفاری
۶	جهاد کشاورزی شهریار	X: 503878 Y: 3948782	۶۰	پیزومتر	اتمام حفاری
۷	خاور جاده شهریار	X: 516811 Y: 3942382	۶۰	پیزومتر	اتمام حفاری



۱-۳-۱- نشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی در جهان

نشست زمین بر اثر برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی و افت سطح آب یک خطر فرا ملی و جهانی است. در دهه‌های اخیر حالت پیشرونده این پدیده همراه با اوج صنعتی شدن، شهرنشینی شدن و پمپاژ بی رویه از آبهای زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی مشاهده شده است. با توجه به اینکه نشست زمین به طور معمول در محدوده بزرگی صورت می‌پذیرد بدین لحاظ مقابله با آن نیز مشکل می‌باشد.

این پدیده در نقاط مختلفی از جهان گزارش گردیده است. از نمونه‌های آن می‌توان به نشست زمین بدلیل پمپاژ آب در ۳۵ سال گذشته در شهر بانکوک در تایلند اشاره نمود. بیشترین نشست سالانه در این شهر ۱۲۰ میلیمتر و در اوایل دهه ۱۹۸۰ گزارش گردیده است (Phien-wej et al., 2006). از نمونه‌های مهم دیگر نشست زمین می‌توان به شهر ساحلی ونیز در ایتالیا اشاره نمود. این شهر بر روی دلتای رودخانه پو (Po) و از رسوباتی ماسه‌ای، سیلتی و رسی ساخته شده است. این شهر افسانه‌ای کلیساها و قصرها با یک با نرخ ۰/۵ سانتی متر در زمین فرو می‌رود. در فاصله سالهای ۱۹۳۰ تا ۱۹۷۳ این شهر حدود ۱۵ سانتیمتر فرو نشست داشته است (Gambolati et al., 1974). اولین تلاش برای کنترل برداشت آبهای زیرزمینی در نزدیکی ونیز در سال ۱۹۶۹ انجام شد و بر پایه گزارش‌ها، نرخ فرونشست زمین آهسته شده است. شهر ونیز در قرن گذشته ۲۳ سانتیمتر از ارتفاع خود را از دست داده است. از این میزان، ۱۲ سانتیمتر مربوط به نشست زمین می‌باشد. از این میزان نشست ۳ سانتیمتر مربوط به نشست طبیعی زمین و ۹ سانتیمتر مربوط به نشست است که انسان در آن دخالت داشته است. ۱۲ سانتیمتر باقیمانده مربوط به بالا آمدن سطح آب دریا بوده است. از ۹ سانتیمتر نشست زمین مربوط به فعالیت‌های انسانی بیشترین میزان نشست بین سالهای ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰ رخ داده که در آن زمان بیشترین افت سطح آب زیرزمینی گزارش شده است (Brambati et al. 2003). نرخ فرونشست بعد از این سال‌ها با توجه به کنترل برداشت آب زیرزمینی آهسته شده است. امروزه طبقات پایین بسیاری از ساختمان‌های ونیز رها شده و گربه‌ها و موش‌ها در آنها زندگی می‌کنند و غم‌انگیز به نظر می‌رسد که ممکن است چند دهه دیگر این شهر زیبا و تاریخی به زیر آب برود.



ستبرای رسوبات کواترنر در این منطقه بین چند صد متر تا ۳۰۰۰ متر می باشد. این رسوبات منشا آبرفتی و دریایی دارند و به طور عمده از لایه های ماسه و سیلت رسی تشکیل شده اند ((Brambati et al. 2003)).

از نمونه های دیگر می توان به نشست دشت ساحلی تسالونیک (شمال یونان) به میزان حدود ۱۰ سانتیمتر در سال، شهر لس بانوس - کتل من در کالیفرنیا با مقدار نشست ۸/۸ متر تا سال ۱۹۶۹ اشاره نمود (Larson. et al, 2001). کالیفرنیا مناطق تحت فرونشست بیشتری در مقایسه با سایر نقاط امریکا دارد. قسمت جنوبی دره کالیفرنیا به طور شدید توسط آبهای زیرزمینی آبیاری می گردد. در این منطقه دست کم ۱۱۰۰۰ کیلومتر مربع از آن از سال ۱۹۲۰ تا کنون بیش از ۰/۳ متر نشست کرده اند، که بزرگترین محدوده فرونشست زمین در جهان را تشکیل می دهد. در این منطقه ناحیه ای بطول ۱۱۳ کیلومتر بیش از ۳ متر نشست با حداکثر نشست ۸/۵ متر را داشته است (Poland, 1981). در شکل ۱-۲- میزان نشست زمین در قسمتی از کالیفرنیا در حد فاصل سالهای ۱۹۲۵ تا ۱۹۷۷ توسط یک شاخص نشان داده شده است.

پدیده نشست در بیش از ۱۵۰ شهر مهم جهان گزارش گردیده است (Hu et al., 2004). در جدول ۱-۲ مشخصات نشست زمین در اثر افت سطح آبهای زیرزمینی در چند شهر مهم جهان شده است.

جدول ۱-۲- مشخصات نشست در اثر افت سطح آبهای زیرزمینی در چند شهر مهم جهان

نام محل	میزان افت سطح آب	نشست زمین	دوره مشاهده	مرجع
---------	------------------	-----------	-------------	------



		(cm)	(m)	
Pacheco et al., 2006	۱۹۷۰-۲۰۰۲	۶۴۳	۱۶۰	مکزیکوسینی در مکزیک
Quanlong, 2006	۱۹۲۱-۱۹۶۵	۲۶۳		شانگهای در چین
Fulton, 2006	۱۹۲۵-۱۹۹۷	۸۸۰	۱۸۰	سن ژوئن در امریکا
Pacheco et al., 2006	۱۹۳۰-۲۰۰۵	۳۵۰		تسالونیکه در یونان
Phien-wej et al., 2006	۱۹۳۳-۲۰۰۲	۲۰۵	۶۵	بانکوک در تایلند
Gambolati et al., 1974	۱۹۳۰-۱۹۷۲	۱۵		ونیز در ایتالیا
Motagh et al., 2007	۱۹۹۵-۲۰۰۵	۹۰	۱۵	مشهد در ایران



شکل ۱-۲- محل تقریبی نقطه ای در آمریکا در جنوب غرب مندوتا در کالیفرنیا که حداکثر نشست زمین در آمریکا در این نقطه توسط دکتر پولند (Poland) که تصویر آن در عکس دیده می شود گزارش شده است. بر روی تیر برق به عنوان مقیاس مقادیر نشست در حد فاصل سالهای ۱۹۲۵ تا ۱۹۷۷ مشخص شده است.

فرو نشست شهر مکزیکوسیتی از نمونه های مهم دیگر نشست در جهان می باشد. این شهر دارای رشد جمعیت نجومی است. جمعیت آن از یک میلیون نفر در سال ۱۹۲۲ به نزدیک ۱۰ میلیون نفر در سال ۱۹۸۰ و در حال حاضر با حومه به حدود ۲۵ میلیون رسیده است. برای تامین آب شهر، برداشت آب از آبخوان این شهر با نرخ خیلی بیشتر از تغذیه طبیعی در حال انجام است. بهره برداری از این آبخوان ۵۰ متر مکعب در ثانیه می باشد. لایه های زیر سطحی آبخوان این شهر از لایه های سیلت و ماسه به ضخامت بین ۱۰ تا ۴۰ متر و سپس لایه رسی (اکی تارد) با ضخامت متوسط حدود ۱۰۰ متر تشکیل شده است. ضخامت اکی تارد در برخی نقاط به حدود ۳۰۰ متر می رسد. این نقاط از بیشترین پتانسیل جهت نشست برخوردار



می‌باشند. بطورکلی نشست زمین در اثر تحکیم این لایه رخ می‌دهد. در زیر اکی تارد رسوبات آبرفتی آبدار به ضخامت ۱۰۰ تا ۵۰۰ متر قرار دارد که آبخوان اصلی شهر را تشکیل می‌دهد. نشست زمین در برخی نقاط این شهر تا سال ۱۹۹۱ به ۸ متر رسید. اگر برداشت آب با همین روال ادامه یابد در سال ۲۰۱۰ افت به حدود ۱۵ متر خواهد رسید. چنانچه از افت سطح آب جلوگیری شود تا این سال میزان نشست کمتر از ۱۰ متر خواهد بود (Ortega-Guerrero et al. 1999).

۱-۳-۲- نشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی در ایران

در سالهای اخیر نشست زمین همراه با افت سطح آبهای زیرزمینی در خیلی از آبخوانهای کشور گزارش گردیده است. آمار دشت های کشور که در آن نشست زمین گزارش گردیده شامل ۲۰۹ دشت می‌باشد. از جمله این دشت ها می‌توان به دشت سیستان (رهنما راد و فیروزان، ۱۳۸۱)، دشت کاشمر در استان خراسان رضوی (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۵b)، دشت اسدآباد در استان همدان (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۶c)، دشت مشهد (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۶a، حسینی، ۱۳۸۴) و دشت نیشابور (لشکری پور و همکاران، ۱۳۸۶ b)، دشت رفسنجان در استان کرمان (عباس نژاد، ۱۳۷۷ و Mousavi et al., 2001) را نام برد.

اخیراً میزان نشست زمین در بخش‌هایی از دشت مشهد در حد فاصل سال های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵ به میزان ۹۰ سانتی متر در اثر افت ۱۵ متری سطح آب گزارش گردیده است (Motagh et al., 2007). از دشت‌های مهم دیگر ایران که پدیده نشست در آن رخ داده می‌توان به دشت مهباز در استان اصفهان اشاره نمود. در این دشت در طول ۱۰ سال گذشته یک رشته شکاف به طول ۱۰ کیلومتر و به عرض ۵ تا ۵۰ سانتی متر بوجود آمده که هر سال ۵ سانتی متر بازتر می‌شود (اجل لوثیان و بهادران، ۱۳۷۷).

اولین دشتی که در ایران در آن نشست زمین در اثر افت سطح آب زیرزمینی گزارش گردید دشت رفسنجان می‌باشد. اولین گزارش‌های مربوط به نشست این دشت مربوط به سال ۱۳۴۶ می‌باشد. در دشت رفسنجان به ازای هر ۱۰ متر افت سطح آب زیرزمینی، حدود ۴۲ سانتی متر نشست زمین گزارش شده است (عباس نژاد، ۱۳۷۷). در مطالعات جدیدتر توسط موسوی و همکاران که بر اساس اطلاعات بیش از ۱۰۰



دستگاه GPS نصب شده بدست آمده، میزان نشست به ازای هر متر افت سطح آبهای زیرزمینی بین ۵ تا ۱۵ سانتیمتر گزارش گردیده است. آنها همچنین گزارش نمودند که در این دشت در طول ۳۰ سال از سال ۱۹۶۹ تا سال ۱۹۹۹ تعداد چاه ها از ۲۰۹ حلقه به ۱۷۹۸ حلقه و میزان برداشت آب سالانه از ۱۴۹ به ۸۳۹ میلیون متر مکعب رسیده است. این برداشت بی رویه سبب افت حدود ۲۵ متری سطح آب شده است. در این مدت میزان فرو نشست زمین حدود ۱۰ در صد افت سطح آبهای زیرزمینی گزارش شده است (Mousavi et al., 2001).

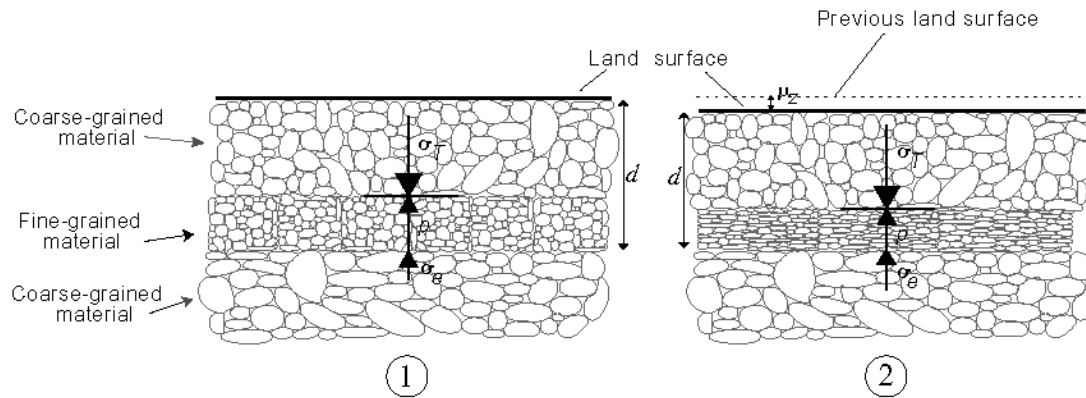
در منطقه سیرجان از دیگر نقاط استان کرمان نیز فرونشست زمین در اثر افت سطح آب های زیرزمینی گزارش شده است. در این منطقه به ازای هر ۱۰ متر افت سطح آب زیرزمینی، فرو نشست حدود ۲۷ سانتی متر اندازه گیری شده است (رحمانیان، ۱۳۶۵).

در دشت کبودرآهنگ و فامنین در استان همدان نیز فرو نشست زمین و تشکیل فروچاله ها (Sink hole) در اثر افت سطح آبهای زیرزمینی گزارش شده است (فاطمی عقدا و همکاران، ۱۳۸۰، امیری ۱۳۸۴، خورسندی آقایی و عبدالی ۱۳۸۵).

۱-۳-۳- مکانیزم نشست

نشست منطقه ای زمین بدلیل افت سطح آبهای زیرزمینی اتفاق می افتد. این نوع نشست به طور عمده در رسوبات تحکیم نیافته تا نیمه تحکیمی (در اکی تارد Aquitard رسی) که در مجاورت لایه های شن و ماسه قرار دارند اتفاق می افتد. در این عمل تراکم برگشت ناپذیر (Nonrecoverable compaction) در آبخوان رخ می دهد. البته این عمل زمان بر بوده و به آهستگی انجام می پذیرد. در اثر آن زهکشی آب از لایه ریزدانه بدلیل افت فشار هیدرولیکی انجام می پذیرد. در چنین شرایطی یک تراکم غیر الاستیک بدلیل افزایش تنش موثر (اعمال تنش های بیش از تنش هایی که قبلا تحمل نموده) در خاک رخ داده و چیدمان دانه های خاک بهم خورده و چیدمان جدید باعث کاهش حجم و ضخامت عمودی لایه و در نهایت

نشست می گردد (شکل ۳). این نکته لازم به یادآوری است که برگشت تراکم خیلی کم در لایه های خاک در حدود ۱ تا ۵ درصد در صورت برگشت سطح آب امکان پذیر می باشد (Riley, 1998).

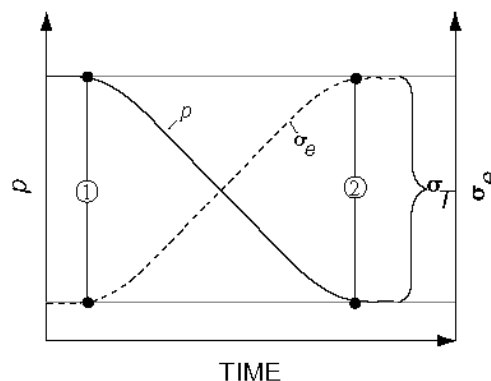


شکل ۳-۱- کاهش حجم لایه ریزدانه و نازک شدن آن در اثر زهکشی، ۱- قبل از زهکشی و ۲- بعد از زهکشی و با نشست

افزایش فشار هیدرواستاتیک براساس قانون ساده ترزاقی طبق رابطه زیر استوار می باشد.

$$\sigma_e = \sigma_T - p$$

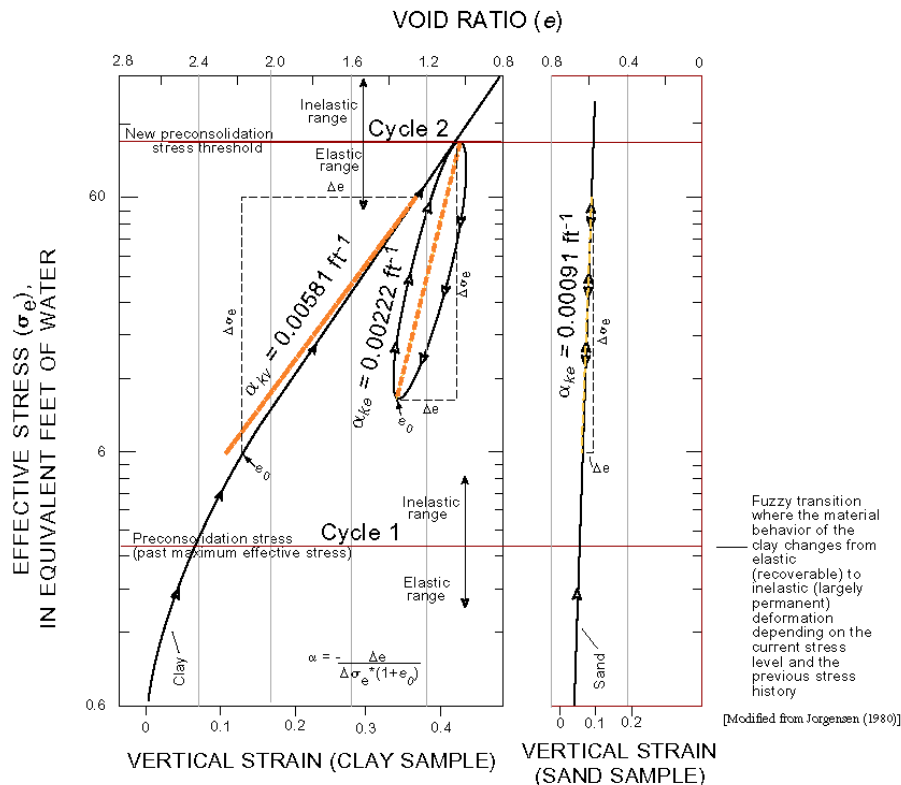
که در این رابطه σ_e تنش موثر، σ_T تنش کل و p فشار آب می باشد. بدلیل اینکه تنش کل ثابت می باشد، کاهش فشار آب منفذی در اثر افت سطح آب زیرزمینی باعث افزایش تنش موثر می گردد (شکل ۱-۴).



شکل ۴-۱- رابطه بین تنش کل و موثر



در شکل ۱-۵ مقایسه بین میزان نشست در خاک ریزدانه رسی با خاصیت تراکم پذیری زیاد و خاک درشت دانه ماسه نشان داده شده است. این شکل بخوبی میزان نشست قائم بیشتر در خاک های ریزدانه نسبت به درشت دانه را نشان می دهد. به همین دلیل خاک های ریزدانه از پتانسیل کاملا بیشتری جهت نشست زمین در اثر افت سطح آب های زیرزمینی برخوردار می باشند.



شکل ۱-۵- مقایسه بین تغییر شکل قائم رس با خاصیت تراکم پذیری زیاد و ماسه

در برخی چاه های آب منطقه، حرکت ماسه های بدون چسبندگی به درون لوله جدار محافظ چاه ها موجب فرونشست محلی در اطراف چاه ها شده است. این نوع فرونشست های محلی بدلیل اجرای بد گراول پک در چاه ها رخ می دهند و ارتباطی با نشست منطقه ای زمین در ارتباط با افت سطح آب های زیرزمینی ندارد. در چنین چاه هایی نیز لوله زایی مشابه نشست منطقه ای مشاهده می گردد.

۱-۳-۴- اکتشافات زیرسطحی

روش‌های اکتشافات زیر سطحی را به دو دسته تقسیم‌بندی می‌کنند: روش‌های غیر مستقیم یا ژئوفیزیکی و روش‌های مستقیم شامل حفر ترانشه، چاه، تونل و گمانه.

روش‌های ژئوفیزیکی در کسب اطلاعات از موقعیت هدف‌های ویژه مانند حفره‌های انحلالی، آنومالی‌های معدنی و موقعیت‌یابی تقریبی آب‌های زیرزمینی و نیز تغییرات جانبی زمین می‌تواند سودمند واقع شود، لیکن نتایج این تکنیک‌ها بقدری کیفی هستند که مهندسان اغلب آنها را ترجیح نمی‌دهند. بنابراین روش‌های مستقیم کسب اطلاعات در درجه اول اهمیت قرار دارند. این روش‌ها فرصتی را جهت کسب نمونه‌هایی برای توصیف چشمی و آزمایش‌های شاخص که اساسی‌ترین راه شناسایی لایه‌ها و چینه‌های زمین می‌باشد فراهم کرده، انجام آزمایش‌های برجا و نصب ابزارهای دقیقی مانند انواع پیژومترها را امکان‌پذیر می‌کند.

متداول‌ترین شیوه اکتشافی شرایط زیر سطحی، حفر یک سری چاه‌های با قطر کم بصورت عمودی در درون زمین است که تحت عنوان گمانه اکتشافی شناخته می‌شوند. آنها را می‌توان به وسیله اوگرهای دستی یا با تجهیزات قدرتمند قابل حمل حفر کرد، اما چنین گمانه‌های مطابق شکل ۱-۶، بیشتر به وسیله تجهیزات نصب شده بر روی کامیون حفر می‌گردند. تکنیک‌ها و تجهیزات گوناگونی برای سازگاری با شرایط زیر سطحی متغیری که ممکن است به آن برخورد گردد، در دسترس است.

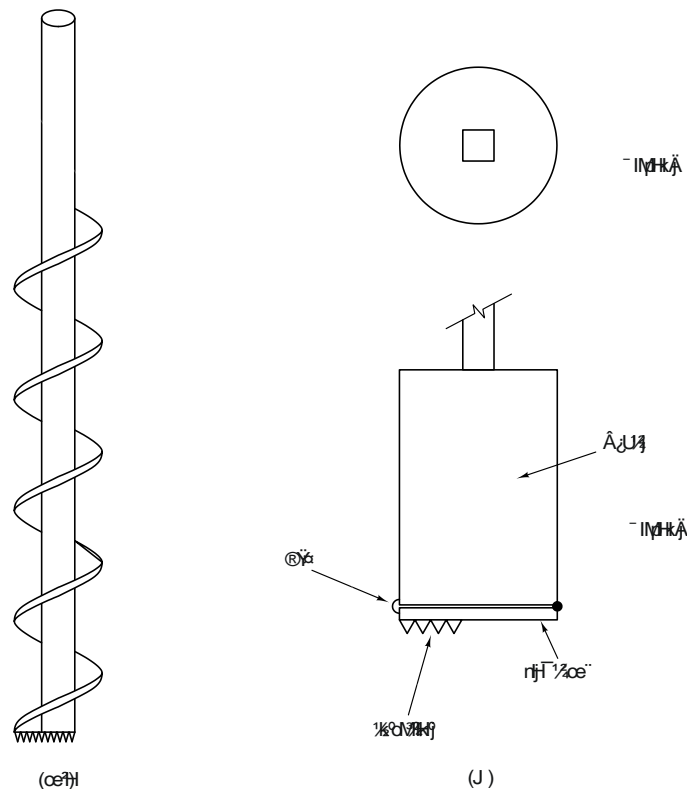


شکل ۱-۶- دستگاه حفاری دورانی سوار بر کامیون



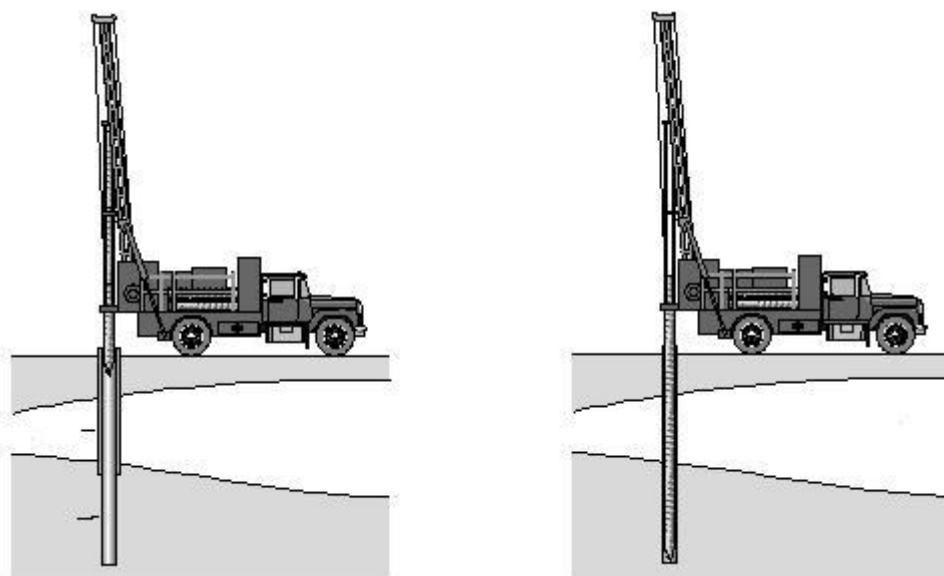
مطابق شکل ۷-۱ گاهی اوقات یک گمانه را می توان با استفاده از یک اوگر پله دار (Flight Auger) یا اوگر

سطلی (Bucket auger) حفر کرد.



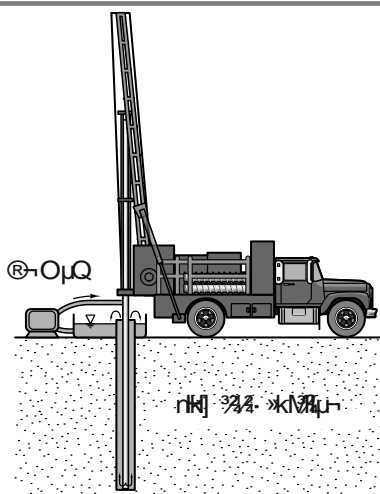
شکل ۷-۱ - (الف) اوگر پلکانی و (ب) اوگر سطلی

اگر خاک دستخوش حفره‌زایی (Caving) (یعنی ریختن دیواره‌ها به درون گمانه) یا فشردگی (Squeezing) (یعنی حرکت خاک به داخل که باعث کاهش قطر گمانه می‌گردد)، لازم است از برخی انواع نگهدارنده‌های جانبی در طی عملیات حفاری کمک گرفته شود. حفره‌زایی به طور احتمال در ماسه‌ها بویژه در زیر سطح آب زیرزمینی به چشم می‌خورد، در صورتی که فشارش در رس‌های نرم اشباع رخ می‌دهد. همانطور که در شکل ۸-۱ الف دیده می‌شود، یک روش کنترل خاک‌های حفره‌زا یا فشارنده استفاده از لوله جدار (Casing) است. این روش شامل پوشش‌گذاری قسمتی یا کل طول گمانه با لوله فلزی می‌باشد.



شکل ۱-۸- روش‌های کنترل خاک‌های حفره‌زا یا فشارنده (الف) گذاشتن لوله جدار (ب) اوگر توخالی

راه حل دیگر استفاده از اوگر توخالی (Hollow-stem auger) می‌باشد. حفار هر یک از این اوگرها را با چرخش به داخل خاک فرو می‌کند و با فروبردن ابزارهای نمونه‌گیری از میان گمانه توخالی، از خاک نمونه‌گیری می‌کند. هنگامی که گمانه کامل شد، اوگر خارج می‌گردد. در نهایت، می‌توان از حفاری شستشویی دورانی (Rotary wash boring) بهره جست، همانطور که در شکل ۱-۹ دیده می‌شود. این گمانه‌ها با دوغاب بتونیت (مخلوط رس بتونیت و آب) پر می‌گردد تا فشاری ایستابی را به کناره‌های گمانه ایجاد کرده، بنابراین مانع حفره‌زایی گردد.



شکل ۱-۹- حفاری شستشویی دورانی

حفاری درون سنگ به ویژه سنگ سخت روش‌ها و تجهیزاتی متفاوتی را می‌طلبد. مهندسان اغلب از روش مغزه‌گیری (Coring) بهره می‌گیرند، زیرا نمونه‌های استوانه‌ای سالمی از سنگ را فراهم می‌کنند.

بطور خلاصه، شیوه‌های متداول حفاری‌ها یا گمانه‌زنی ژئوتکنیکی عبارتند از:

- حفاری ماریپچی (Auger Drilling)
- حفاری شستشویی (Wash-boring)
- حفاری دورانی (Rotary Drilling)
- حفاری ضربه‌ای (Percussion or Impact Drilling)

در این پروژه به لحاظ اهمیت موضوع فرونشست و نیز کارایی روش حفاری در کسب اطلاعات مورد نیاز، گمانه‌زنی از نوع دورانی با نمونه‌گیری پیوسته انتخاب شده است، که می‌تواند علاوه بر کسب نمونه برای انجام آزمایش‌های مورد نظر و نیز انجام آزمایش‌های صحرایی نظیر آزمایش نفوذپذیری، نیمرخ زمین را بصورت کامل ارائه دهد. تمام اطلاعات حاصل از این گمانه‌ها در برگه‌های لاگ گمانه‌ها نمایش داده می‌شوند.



۱-۴- چگونگی انجام عملیات حفاری

به منظور کنترل لایه‌های تحت‌الارضی ابتدا حفر ۶ گمانه ماشینی تا عمق حداکثر ۵۰ متر و دو گمانه ۲۵۰ متری در دستور کار قرار گرفت. بدین منظور یک دستگاه حفاری مدل Acker در اولین نقطه مورد نظر مستقر، تجهیز کارگاه صورت گرفت و عملیات حفاری آغاز گردید. در ضمن انجام عملیات حفاری عمق گمانه‌ها اصلاح و به ۶ گمانه ۱۰۰ متری و یک گمانه ۱۵۰ متری تغییر یافت که این اعماق با توجه به آبرفتی بودن محل نیازمند تغییر در ادوات حفاری بود که این عمل انجام گرفته است.

گمانه‌ها از تراز زمین حفاری گردیده، کلیه مراحل شناسایی شامل عملیات حفاری، ثبت تغییرات لایه‌ها، اخذ نمونه و انجام آزمایش‌های درجا تحت نظارت کارشناس انجام شده است. نتایج عملیات صحرایی در نمودار گمانه‌ها ارائه شده است. حفاری در این مکان به شیوه مغزه‌گیری (Coring) انجام می‌گیرد. شروع حفاری با کربارل ۱۲۷ میلیمتر آغاز گردید که این اندازه در اعماق پایین تر به قطرهای ۱۱۲، ۹۳ و ۷۶ میلیمتر کاهش یافت و نصب لوله‌های جدار (Casing) به روش تلسکوبی انجام گرفت. مغزه‌های به دست آمده در اعماق مختلف جهت انجام آزمایش‌های تکمیلی به آزمایشگاه مرکزی ارسال می‌گردد. به منظور تعیین میزان خوردند آب (نفوذپذیری)، در حین عملیات حفاری، آزمایش لوفران با بار ثابت و افتان صورت می‌گیرد.

۱-۵- نمونه‌برداری

در این پروژه با توجه به نوع و جنس لایه‌های زیرسطحی، نمونه‌برداری در لایه‌های مختلف به صورت پیوسته انجام پذیرفته است. تعدادی از نمونه‌ها جهت انجام آزمون‌های آزمایشگاهی شامل دانه‌بندی، تعیین درصد رطوبت و ... به آزمایشگاه منتقل می‌گردد.

۱-۶- آزمایش‌های پیش‌بینی شده

آزمایش‌های پیش‌بینی شده در این پروژه شامل آزمایش‌های صحرایی و آزمایش‌های آزمایشگاهی می‌باشند.



۱-۶-۱- آزمایش های صحرائی

آزمایش های برجای انجام شده در حین حفاری عبارتند از آزمایش نفوذ استاندارد SPT و نفوذپذیری خاک به روش لوفران.

• آزمایش ضربه و نفوذ استاندارد (SPT)

در حین حفاری و در اعماق مختلف، آزمایش ضربه و نفوذ استاندارد طبق استاندارد ASTM D1586 با شمارش تعداد ضربات برای نفوذ نمونه گیر استاندارد به عمق ۳۰ سانتیمتر به وسیله چکشی به وزن ۶۳/۵ کیلوگرم با ارتفاع سقوط ۷۶ سانتیمتر، دو متر به دو متر انجام شده است. تعداد ضربات برای سه مرحله نفوذ ۱۵ سانتیمتری شمارش شده است. عدد SPT حاصل جمع شمارش های نفوذ ۳۰ سانتیمتر آخر می باشد.

• آزمایش نفوذپذیری خاک

از آزمایش لوفران جهت تعیین میزان نفوذپذیری در رسوبات غیر چسبنده مانند شن و ماسه و سنگ های خرد شده استفاده می شود. این آزمایش در خاک های چسبنده نیز بکار می رود ولی نتایج کمتر مورد اعتماد هستند. این آزمایش در حین حفاری انجام می گیرد.

۱-۶-۲- آزمایش های آزمایشگاهی

به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی، مکانیکی، شیمیایی و طبقه بندی خاک های تحت الارضی، آزمایش های زیر بر روی نمونه های اخذ شده انجام شده است.

✓ آزمایش دانه بندی و هیدرومتری (Grain Size Distribution and Hydrometer)

آزمایش های دانه بندی توسط تعدادی الک با اندازه های مختلف مطابق با استاندارد ASTM انجام شده است. آزمایش های دانه بندی به طور عمده همراه با آزمایش هیدرومتری بوده است.



✓ آزمایش تعیین حدود اتربرگ (Atterberg Limits)

حد روانی و خمیری ذرات کوچکتر از 0.075 میلیمتر (گذشته از الک نمره ۲۰) به روش استاندارد ASTM D422 و مخروط نفوذ تعیین شده است.

✓ آزمایش تعیین درصد رطوبت (Moisture Content)

درصد رطوبت طبیعی برخی نمونه‌های حاصل از اعماق مختلف به روش استاندارد ASTM D2216 تعیین گردیده، نتایج بدست آمده در گزارش نهایی ارائه می‌گردد.

✓ آزمایش تحکیم (Consolidation)

به منظور تعیین پارامترهای نشست‌پذیری خاک بر روی برخی از نمونه‌های اخذ شده آزمایش تحکیم صورت گرفته است.

✓ آزمایش برش مستقیم (Direct Shear Test)

از آزمایش برش مستقیم در تعیین پارامترهای مقاومت برشی خاک، c و ϕ استفاده می‌گردد.

✓ آزمایش شیمیایی (Chemical test)

بر روی چند نمونه خاک از محل گمانه‌ها، آزمایش‌های تعیین کلر، سولفات و همچنین تعیین میزان pH انجام گرفته است. نتایج بدست آمده در گزارش نهایی ارائه می‌گردد.

۱-۷- ابزار دقیق پیش‌بینی شده

استفاده از ابزار دقیق در پروژه‌های مرتبط با خاک و سنگ که نیازمند کنترل در طول زمان می‌باشد یک موضوع پیچیده و در حال پیشرفت است. به طور اصولی از ابزار دقیق یا ابزاربندی (Instrumentation) برای کنترل پروژه‌ها در زمان اجرا یا در زمان بهره‌برداری استفاده می‌شود علاوه بر این می‌توان از آن جهت کسب اطلاعات در فاز مطالعاتی برای بدست آوردن پارامترهای طراحی بهره گرفت. تعداد و نوع ابزار دقیق‌های مورد نیاز به نوع کاوش بستگی دارد. در بیشتر پروژه‌ها تعداد ابزارهای نصب شده در فازهای اولیه محدود بوده، معمولاً شامل ابزارهای اندازه‌گیری فشار آب منفذی می‌گردد. در پروژه حاضر بنا به



هدف مورد مطالعه، علاوه بر ابزارهای نیازمند نشست سنج‌های مناسب نیز خواهیم بود. در این پروژه جهت اندازه‌گیری فشار آب منفذی از پیزومتر با تار لرزان استفاده خواهد شد. از اینرو در اینجا به تشریح متداول ترین ابزارها می‌پردازیم:

۱-۷-۱- فشارسنج‌های آب منفذی (پیزومتر) (Piezometer)

به‌طور کلی مطالعه فشار آب منفذی با دو هدف صورت می‌گیرد:

۱- وجود آب در حفرات خاک و سنگ، ظرفیت باربری و مقاومت آن را کاهش می‌دهد. این اثر بویژه در فشارهای بالای آب منفذی که در نهایت موجب گسیختگی کامل می‌گردد، قابل توجه است. شایان ذکر است که کاهش فشار آب منفذی و به عبارتی خروج آب از درون خلل و فرج ذرات خاک یا سنگ و در نهایت پایین افتادن تراز آب زیرزمینی می‌تواند نشست زمین را به همراه داشته باشد.

۲- تعیین الگوی جریان آب در خاک/سنگ و پی سدها و نیز تعیین خط فراتیک (Phreatic line).

ابزارهای اندازه‌گیری فشار آب در سنگ، خاک یا بتون را پیزومتر گویند.

پیزومترها انواع مختلفی دارند که عبارتند از پیزومترهای نوع تار لرزان (Vibrating Wire) و پیزومترهای

لوله ایستاده (Open Standpipe Piezometer) با فیلتر متخلخل از نوع کاساگرانده (Casagrande)، پیزومتر

پنوماتیک یا هیدرولیکی (Pneumatic Piezometer).

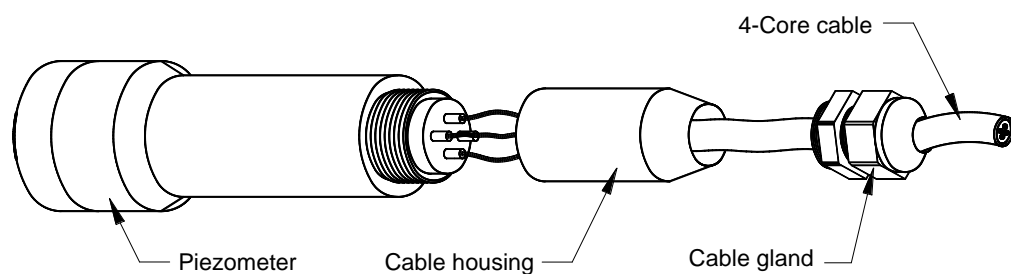
✓ پیزومتر تار لرزان

پیزومتر تار لرزان مقدار فشار وارده را بر اساس مکانیسم تار لرزان اندازه می‌گیرند. در این روش

قسمتی از ابزار (دیافراگم) که مورد بارگذاری (فشار آب) قرار می‌گیرد به تار متصل است و بسته به

تغییرات طول تار، کشش تار و فرکانس ارتعاش آن تغییر می‌کند. این تغییر فرکانس، متناسب با نیروی وارده و دمای محیط نصب می‌باشد.

کارخانه سازنده، ابزارهای تولیدی را تحت نیروهای معین قرارداده، بر اساس نتایج حاصله، ضرایب و پارامترهای کالیبراسیون هر ابزار را تعیین می‌کند. پس از نصب ابزار و وارد کردن ضرایب لازم و قرائت اولیه هر ابزار به قرائت گر خاص خود (Readout Unit)، پارامترهای لازم بصورت خودکار محاسبه و بر طبق اطلاعات پایه موجود در سیستم حافظه داخلی، فشار وارده را بر حسب واحد مورد نظر و دمای محیط را بر حسب درجه سانتیگراد ارائه می‌نماید.

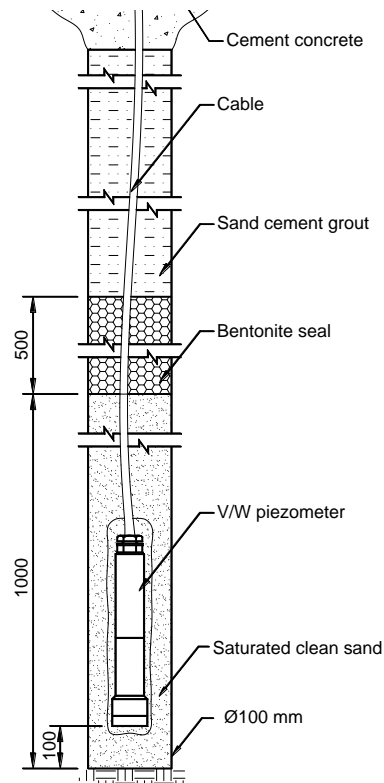


شکل ۱-۱- اجزای پیزومتر تار لرزان (ساخت شرکت انکاردیورایت)

جهت نصب این ابزار بطور خلاصه، ابتدا با توجه به فشار پیش‌بینی شده در ارتباط با محل نصب، ظرفیت پیزومتر انتخاب می‌شود (برای مثال Capacity: 5kg). گمانه‌ای تا عمق مورد نظر (کمی پایین‌تر از محل تراز نصب) بوسیله دستگاه حفاری حفر می‌گردد. سپس انتهای گمانه با ماسه تمیز و اشباع پر می‌گردد. مجموعه سر هم شده سنسور (مطابق شکل ۱-۱) در محل خود مستقر می‌گردد و مطابق شکل شماتیک ۱۲-۱ بقیه مراحل شامل آب‌بندی گمانه و کابل‌کشی انجام می‌شود.



شکل ۱-۱۱- آماده سازی پیزومتر (اتصال کابل به سنسور، لحیم کاری)



شکل ۱-۱۲- مقطع اجزای نصب شده یک پیزومتر تار لرزان در داخل یک گمانه
(از پایین به بالا: ماسه تمیز و اشباع، آب بند بتونیتی، دوغاب سیمان-ماسه و بتن در سطح)

همانگونه که گفته شد، برای قرائت این ابزار از دستگاه واحد قرائت (Readout Unit) استفاده می‌گردد (شکل ۱-۱۳). از محاسن این دستگاه در مقایسه با دستگاه‌های سایر سازنده‌ها، ارائه دما و فشار بطور مستقیم و بدون نیاز به محاسبه دستی یا استفاده از هرگونه نرم‌افزار می‌باشد. کابل این ابزار به صورت ۴ رشته‌ای است که ۲ رشته جهت قرائت دما و ۲ رشته جهت قرائت فشار پیزومتری می‌باشد.



شکل ۱-۱۳- دستگاه واحد قرائت (Readout Unit) جهت قرائت ابزار تار مرتعش

✓ پیزومترهای لوله ایستاده (Standpipe piezometer)

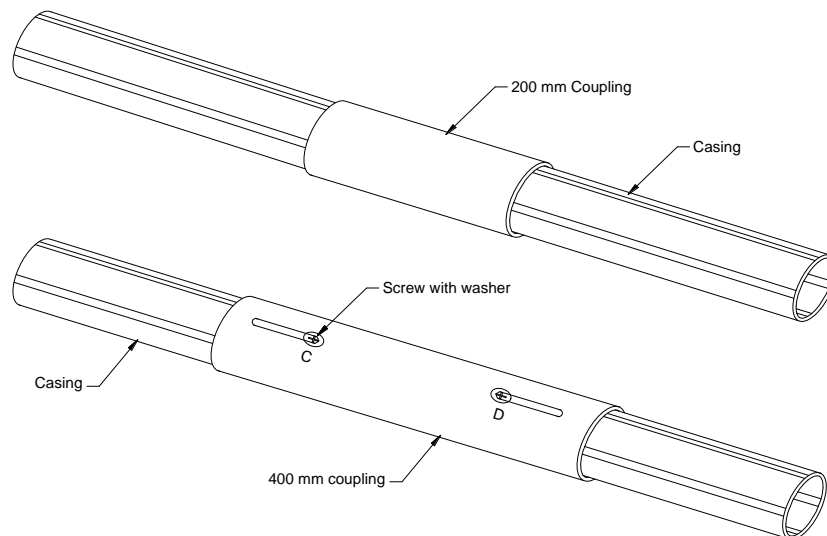
نمونه ساده چنین ابزاری شامل یک لوله قائم می‌باشد که تا عمق مورد نظر در گمانه فرو می‌رود و عمق سطح آب (فشار پیزومتر) را نشان می‌دهد. به چنین پیکره‌ای چاه مشاهده‌ای گویند. به علت ایجاد ارتباط بین چینه‌ها یا لایه‌های خاک معمولاً این ابزار توصیه نمی‌گردد. نوع پیشرفته چنین پیزومترهایی، پیزومتر از نوع لوله ایستاده با فیلتر متخلخل کاساگرانده می‌باشد. این نوع پیزومتر ابزاری ساده و ارزان و در عین حال مطمئن برای اندازه‌گیری فشار آب حفره‌ای (Pore Pressure) و فشار آب درزه‌ای (Joint Water Pressure) می‌باشد. از معایب کار با این ابزار، قرائت وقت‌گیر آن می‌باشد.

این ابزار همانند پیزومترهای پی، تراز پیزومتریکی را به صورت نقطه‌ای اندازه‌گیری می‌کند. آب بتدریج پس از نفوذ از فیلتر کاربوراوندوم متخلخل (Porous Carborundum Tube) وارد لوله PVC شده، بسته به میزان فشار تا ارتفاع مشخصی در لوله صعود می‌نماید. اندازه‌گیری عمق آب در لوله با استفاده از قرائتگر



مخصوص (Water Level Indicator) آب مدل EPP-10/6 انجام می‌شود. با کم کردن این عمق از تراز روی لوله، مقدار تراز پیزومتریک در نقطه نصب لوله این پیزومتر بدست می‌آید. جهت نصب این ابزار بطور خلاصه، ابتدا گمانه‌ای بوسیله دستگاه حفاری حفر گردیده، انتهای گمانه تا رسیدن به تراز نصب، با ماسه تمیز و اشباع پر می‌گردد. مجموعه سر هم شده فیلتر اشباع شده و لوله‌های پلاستیکی مرتبط با آن در محل خود قرارداده شده، سپس بقیه مراحل شامل آب‌بندی گمانه انجام می‌گردد.

۱-۷-۲- ابزارهای اندازه‌گیری جابجایی‌های افقی (انحراف) و قائم خاک (نشست)
سیستم انحراف‌سنج (Inclinometer) و نشست‌سنج (Settlement meter) جهت اندازه‌گیری حرکات جانبی و نشست، مورد استفاده قرار می‌گیرند. عموماً لوله‌های انحراف‌سنج (شکل ۱-۱۴) به گونه‌ای نصب می‌شوند که بتوان میزان تغییر شکل‌های افقی را در جهت عمود برهم اندازه‌گیری کرد.



شکل ۱-۱۴- کیسینگ ABS به همراه کوپلینگ‌های ثابت و متحرک

جهت نصب ابتدا گمانه‌ای با قطری بزرگتر از لوله کیسینگ تا عمق مورد نظر حفر می‌گردد و عملیات نصب در این گمانه انجام می‌گردد. مجموعه صفحات مغناطیسی در حول این کیسینگ در اعماق مورد نظر نصب شده، از آنها جهت تعیین نشست خاک استفاده می‌گردد.

جهت معین کردن میزان حرکات جانبی (انحراف) در طی عملیات خاکریزی یا پس از آن، با وارد کردن یک پروب (Torpedo) در شیار کیسینگ (شکل ۱-۱۵) و با استفاده از دستگاه داده‌نگار (Data logger) (شکل ۱-۱۶) میزان انحراف را می‌سنجند. بدین ترتیب که قرائت از پایین‌ترین نقطه آغاز شده و پس از هر قرائت پروب ۰/۵ متر به بالا کشیده می‌شود. اعداد اندازه‌گیری شده به صورت مثبت و منفی بوده و با جمع جبری آنها تغییر مکان افقی و به تبع آن تغییر شکل توده خاک یا سنگ در دو امتداد عمود بر هم محاسبه می‌گردد.



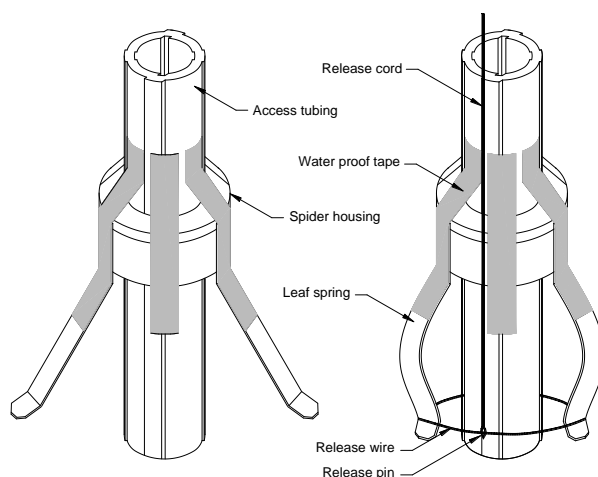
شکل ۱-۱۵- وارد کردن پروب انحراف‌سنج (Torpedo) در رابط (کوپلینگ) کیسینگ‌ها جهت اندازه‌گیری حرکات جانبی



شکل ۱-۱۶- دستگاه داده نگار (Data logger) انحراف سنج

میزان نشست نیز بوسیله وارد کردن یک سوندر مغناطیسی در کیسینگ که در لحظه رسیدن به نشست سنج‌های مغناطیسی با صدای سوت به صدا در می‌آید، سنجیده می‌شود.

نشست سنج‌های مغناطیسی (Magnet Settlement Gage) به دو گونه‌اند. نمونه مورد نیاز این پروژه که درون گمانه نصب می‌شود، از نوع عنکبوتی (Spider) بوده (شکل ۱-۱۷)، با روش ویژه‌ای در ترازهای مورد نظر نصب می‌گردد. تغییرات تراز این نشست سنج‌های مغناطیسی با استفاده از دستگاه سونداژ مدل EDS-91/2.1 قابل اندازه‌گیری است (شکل ۱-۱۸).



شکل ۱-۱۷- نشست سنج‌های عنکبوتی در اطراف لوله کیسینگ



شکل ۱-۱۸- دستگاه سونداژ مدل EDS-91/2.1 جهت اندازه گیری
تراز نشست سنج‌های مغناطیسی نشست (Magnetic Settlement Gage)

برای اندازه‌گیری نشست، قرائتگر تا تراز اولین نشست‌سنج‌های مغناطیسی (SG 01) پایین برده شده، با به صدا درآمدن سوت قرائتگر، عدد مطابق با عمق نشست‌سنج‌ها یادداشت می‌شود. پس از قرائت هر نشست‌سنج، قرائتگر تا سنجنده بعدی (SG 02، SG 03 و ...) بالا کشیده شده، قرائت تا بالاترین صفحه نصب شده ادامه می‌یابد.

اولین سری قرائت را به عنوان مبنا در نظر گرفته، اختلاف قرائت‌های بعدی در مقایسه با این قرائت میزان نشست را نشان می‌دهد.

۱-۸- برنامه زمان‌بندی

قرارداد این پروژه در تاریخ ۱۳۸۵/۱۰/۱۳ منعقد گردید و مدت آن ۵ ماه پیش‌بینی شده بود. عملیات حفاری در تاریخ ۸۵/۱۲/۲۵ آغاز گردید. فاصله بین شروع قرارداد و آغاز عملیات حفاری به ابلاغ مختصات اولین گمانه و اخذ مجوز حفاری از ادارات و سازمان‌های درگیر گذشت که علت آن عدم همکاری شایسته نهادهای یاد شده بوده است، به نحوی که برای اخذ مجوز جهت اولین محل گمانه حداقل ۳۵ روز زمان مفید مستهلک گردید.



بر اساس توافقات اولیه تعداد ۶ گمانه از گمانه‌ها، ۵۰ متری و ۲ گمانه نیز ۲۵۰ متری پیش‌بینی شده بود. اولین کارگاه که بر اساس یک گمانه ۵۰ متری تجهیز شده بود در محل شهرداری بردآباد قرار داشت. در تاریخ ۸۶/۲/۱۵ طی نامه‌ای، گمانه‌ها از ۵۰ متر به ۱۰۰ متر و ۱۵۰ متر افزایش یافتند که در عمل چنین تغییراتی نیازمند وسایل و تجهیزات بیشتری بودند. این مشاور تجهیزات مورد نیاز را فراهم نمود و در جهت افزایش راندمان و سرعت کار برآمد.

بدلیل نیاز به نصب ابزار در داخل این گمانه‌ها، روش حفاری گمانه‌ها اندکی با گمانه‌های عادی ژئوتکنیکی فرق می‌کند. برای مثال برای گمانه‌هایی که قرار است در آن نشست‌سنج نصب شود، دست کم نیاز است که جدار گمانه صاف بوده، عملیات حفاری به صورت خشک انجام گیرد، به علاوه در گمانه‌های ویژه نصب پیژومتر نیز حفاری باید بصورت مغزه‌گیری پیوسته صورت پذیرد.

قرارداد این مشاور شامل انجام عملیات حفاری بوده است، لیکن در ادامه، برنامه نصب ابزار دقیق نیز در گمانه‌های یاد شده به آن اضافه شد.

آنچه در این گزارش آمده است نتایج عملیات حفاری و آزمایش‌های آزمایشگاهی انجام شده می‌باشد.



آلبوم عکس



شکل ۱- دستگاه حفاری Acker در حال کار در کارگاه بردآباد



شکل ۲- دستگاه حفاری SKB500 در حال کار در کارگاه بردآباد



شکل ۳- انجام آزمایش نفوذ استاندارد، SPT



شکل ۴- انجام آزمایش نفوذ استاندارد، SPT



شکل ۵- نمونه گیر دوکفه‌ای آزمایش نفوذ، SPT (Split Spoon Sampler)



شکل ۶- دستگاه حفاری SKB4



شکل ۷- دستگاه حفاری SKB4 و چاله آب



شکل ۸- لوله‌های PVC آماده شده برای داخل گمانه



شکل ۹- شیاردار نمودن لوله‌های PVC



شکل ۱۰- نمونه‌گیر شلیبی (Shelby Sampler)



شکل ۱۱- جعبه نمونه - گمانه شماره ۱



شکل ۱۲- جعبه نمونه - گمانه شماره ۱



شکل ۱۳- جعبه نمونه - گمانه شماره ۱



شکل ۱۴- جعبه نمونه - گمانه شماره ۳



شکل ۱۵- جعبه نمونه - گمانه شماره ۳



شکل ۱۶- نحوه نمونه گیری و پوشش دادن آن



شکل ۱۶- انجام آزمایش لوفران



شکل ۱۷- سر و ته شلیمی توسط موم اندود شده



شکل ۱۸- شلبی بسته‌بندی شده



شکل ۱۹- بسته بندی نمونه



شکل ۲۰- شستشوی نمونه در آزمایش دانه بندی



شکل ۲۱- آزمایش هیدرومتری



شکل ۲۲- دستگاه آزمایش برش مستقیم و نمونه خارج شده از آن



شکل ۲۳- نحوه انجام آزمایش برش مستقیم



شکل ۲۴- نحوه انجام آزمایش تحکیم



پیوست