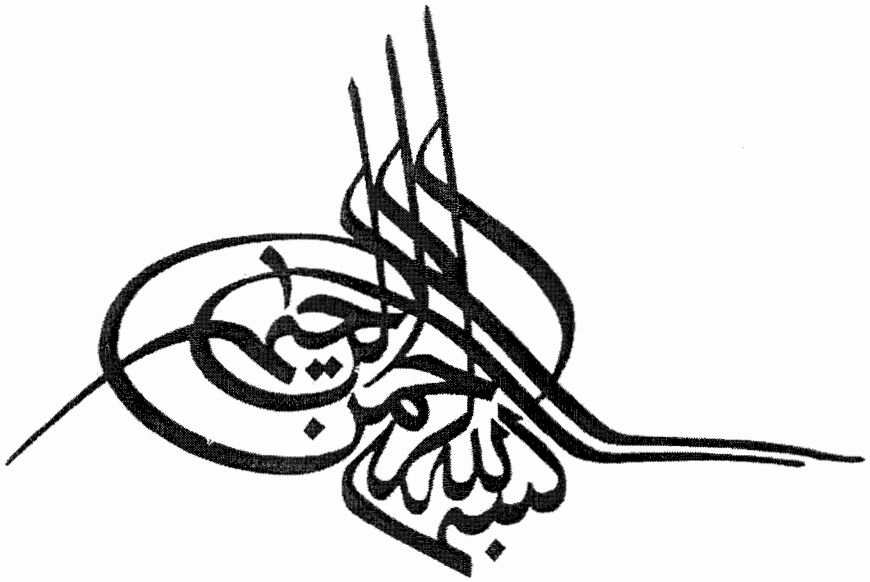


دانشگاه صنعتی شاهرود

سمینار کارشناسی ارشد

دانشکده معدن و ژئوفیزیک

عنوان سمینار:

معرفی ابزارهای مدرن سنجش و رفتار سنجی سنگها در پروژه های زیرزمینی

اساتید راهنما :

دکتر سید رحمان ترابی

گرد آورنده :

فرشاسب جمشاسب

پاییز ۸۴

فهرست مطالب **صفحه**

مقدمه ۱

فصل اول: معرفی رفتار سنجی ۲

۱- ۱- رفتار سنجی و ابزار سنجش رفتار سنگ ۳

۱-۲- خصوصیات کلی سیستم های مشاهده ۴

فصل دوم : *نقشه برداری.* ۶

۲-۱-مقدمه ۷

۲-۲-ابزارهای مدرن نقشه برداری ۸

فصل سوم : همگرا سنجی ۱۰

۳-۱-مقدمه ۱۱

۳-۲- پین همگرا سنجی ۱۱

۳-۳- متر همگرائی سنج ۱۲

۳-۴- یک تجربه ۱۶

فصل چهارم : کشیدگی سنج ۲۰

۴-۱- مقدمه ۲۱

۴-۲- کشیدگی سنج لغزنده ۲۲

۴-۳- کشیدگی سنج درون گمانه ای ثابت ۲۷

۴-۳-۱- انواع گیرداری نقاط اندازه گیری ۲۹

۴-۳-۲ انواع رابط انتقال دهندهٔ جابجایی ۳۵

۴-۴-کشیدگی سنج های مدفون در خاکریز ۳۹

۵- یک تجربه ۴۰
فصل پنجم : درزه سنج ۴۸
۵-۱-مقدمه ۴۹
۵-۲-درزه سنج های مکانیکی ۴۹
۵-۳- درزه سنج های الکتریکی ۵۶
فصل ششم : نشست سنج ۶۰
۶-۱-مقدمه ۶۱
۶-۲- نشست سنج های سطحی ۶۱
۶-۳- نشست سنح های زیر سطحی ۶۲
فصل هفتم : حسگرهای انتقال دهنده تغییر شکل ۶۴
۷-۱-مقدمه ۶۵
۷-۲- انحراف سنج ۶۵
۷-۲-۱- انواع انحراف سنج ها ۷۱
۷-۲-۲ انحراف سنج های چند تایی ۷۳
۷-۲-۳ عوامل موثر در دقت داده های انحراف سنج ۷۳
۷-۳ پاندول مستقیم و معکوس ۷۴
۷-۴ دفلکتومتر چندتایی ۷۶
۷-۵- حسگرهای فیبر نوری ۷۸

۷-۵-۱ دستگاههای قرائت کننده حسگر فیبر نوری ۸۳

منابع: ۸۵

ضمیمه(الف): یک مقطع ابزار دقیق از مغار طرح توسطه سد مسجد سلیمان ۸۶

ضمیمه(ب): یک مقطع ابزار دقیق از شیروانی سنگی سد مسجد سلیمان **۸۷**

فصل اول :

معرفی رفتار سنجی

۱-۱-رفتار سنجی و ابزار سنجش رفتار سنگ[1]:

رفتار سنجی عبارت است از نظارت و ارزیابی رفتار سازه های مهندسی چه بصورت چشمی و مشاهده ای و چه با استفاده از ابزار است.در مکانیک سنگ رفتار سنجی با اهداف ذیل ممکن است انجام شود:

- ثبت مقادیر طبیعی کمیت هایی نظیر سطح سفره آب های زیرزمینی،موقعیت طبقات و زمین لرزه ها قبل از آغاز پروژه مهندسی.
- اطمینان از ایمنی در طول زمان عملیات و ساخت،نظیر هشدار در شرایط تجاوز کمیت ها از حد مجاز مثل افزایش فشار آب یا فشار وارده بر اجزای نگهداری.
- کنترل صحت فرضیات و مدل های ذهنی در خصوص خواص خاک یا توده سنگ که در طراحی مورد استفاده بوده اند.
- کنترل فرآیندهای تاثیر گذار در رفتار زمین مانند منجمد کردن زمین در حفر چاه و تونل در زمین های آبدار ،دوغاب ریزی،نگهداری از فضا ها یا زهکشی.

توده های سنگی شرایط پیچیده ای دارند و پیش بینی خواص مهندسی آن ها قبل از حفاری اگر غیر ممکن نباشد بسیار مشکل است.بر این اساس مدل هایی که برای پیش بینی عکس العمل های مختلف سنگ ها در عملیات مختلف مهندسی استفاده می شوند،بر پایه فرضیات متعدد و ساده سازی و ساخت مدل های ایده آل بنا شده اند.لذا مشاهده و نظارت و کنترل این پارامترها امری واجب وحیاتی میباشد.

طراحی پروژه ها در برخی موارد ممکن است برمبنای نتایج حاصل از مشاهدات از حفاری های آزمایشی و یا رفتار اولیه حفاری های اصلی پایه گذاری شود.امروزه بکارگیری مشاهدات رفتار ساختار ها از وظایف اصلی مهندسین ژئوتکنیک می باشد.

موضوعاتی که ممکن است در یک عملیات معدنکاری زیرزمینی مورد مشاهده قرار گیرد عبارتند از:

- شکست یا لغزش سنگ بر روی مرز حفاری(مشاهده بصری)
- جابجایی در طول یا عرض یک درزه و شکاف منفرد که می تواند توسط یک نمایشگر مکانیکی ساده انجام شود و یا بطور دقیقتر اندازه گیری شود.

- جابجایی یا همگرایی نسبی دو نقطه بر روی مرز فضای حفاری شده.
- جابجایی در داخل توده سنگ و دور از مرز حفاری.
- جابجایی سطح زمین در اثر پدیده شکست.
- تغییرات در شیب یک گمانه در طول مسیر.
- سطح،فشار و وضعیت جریان آب های زیرزمینی.
- تغییرات در تنش در نقطه ای از توده سنگ.
- تغییرات در بارگذاری در اجزای نگهدازی مانند پایه ها،قابها،پیچ سنگ ها،کابل ها و غیره

اگر چه لیست فوق جامع می باشد اما در واقع تنها دو کمیت مهم فیزیکی جابجایی و فشار است که نسبتاً بطور مستقیم با کمک تکنولوژی موجود اندازه گیری می شود.اندازه گیری جابجایی می تواند بصورت اندازه گیری جابجایی مطلق نقاط واقع بر سطح قضای حفاری یا با مشکلات بیشتر واقع در درون توده سنگ باشد و یا می تواند بصورت اندازه گیری جابجایی نسبی دو نقطه واقع بر مرز فضای حفاری باشد که مورد اخیر آسانتر است.

اندازه گیری دیگر متغیر های وابسته اغلب نیازمند استفاده از مدل های ریاضی و خواص مواد(مانند ثابت های الا ستیک) و به کمک مقادیر تغییر شکل ها و فشار های اندازه گیری شده می باشد.اما امروزه استفاده از پارامتر هایی که مستقیماً قابل اندازه گیری هستند نسبت به پارامترهایی که از مدل های ریاضی استفاده شده و در آن ها پارامتر های اندازه گیری شده به عنوان ورودی بکار می روند ترجیح داده میشوند.[1]

۱-۲-خصوصیات کلی سیستم های مشاهده

استفاده از ابزار برای مشاهده یک متغیر فرضی دارای ویژگی های ذیل می باشد.اولاً ابزار مشاهده خود شامل سه بخش مجزا است:یک واحد سنسور یا تشخیص دهنده(Detector) که نسبت به تغییرات در یک پدیده که در حال مشاهده شدن است واکنش نشان می دهد،یک سیستم انتقال که ممکن است از لوله،کابل الکتریکی،واسطه هیدرولیک یا سیستم رادیو تله متری تشکیل شده باشد و خروجی

از سنسور را به محل قرائت منتقل می کند و بالاخره واحد بازخوانی یا قرائت ثبت اطلاعات در یافت شده،نظیر نمایشگر مندرج به اشکال مختلف،فشار سنج(Pressure Gauge)،نوار مغناطیسی و غیره.

ثانیاً از آنجا که سیستم مشاهده باید وظیفه خود را بطور قابل اطمینان و اقتصادی انجام دهد لذا باید شماری از احتیاجات را به شرح ذیل مرتفع نماید:

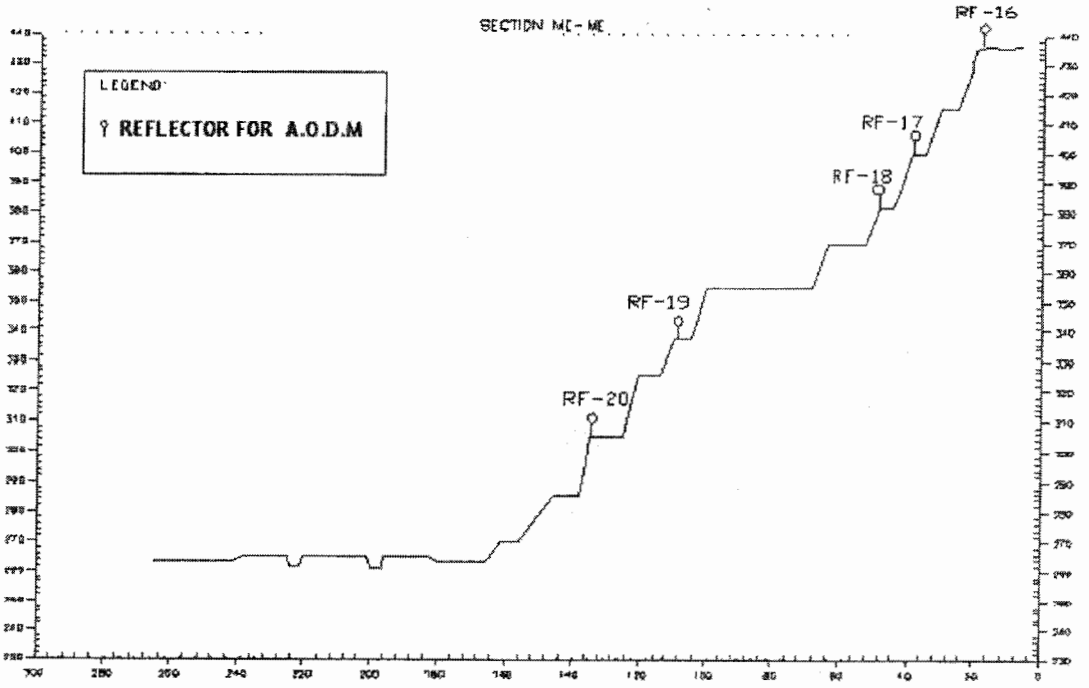
۱-قابلیت نصب آسان حتی در شرایط سخت ۲-حساسیت کافی،صحت و قابلیت تکرار سنجش ها ۳-استحکام کافی و سیستم حفاظتی مناسب جهت اطمینان از دوام در طول مدت مورد نیاز در عملیات ۴-قابلیت قرائت آسان و دسترسی سریع به اطلاعات توسط مهندسین ۵-حداقل مزاحمت برای عملیات تونل زنی همراه با ایمنی کافی.

فصل دوم:

نقشه برداری

۲-۱-مقدمه

روش های نقشه برداری معمولی و با کیفیت بالا از قبیل ترازیابی و مثلث بندی رامی توان برای تعیین مقدار مطلق تغییر مکان نقاط ثابت روی سطح سازه هایی مثل سطوح شیبدار (شکل ۱) بدنه و تاج سد و جداره حفاری های زیرزمینی بکار برد. دو شرط اولیه استفاده از روش نقشه برداری و دسترسی مناسب به محل مورد نظر برای اندازه گیری و همینطور امکان سنجیدن اندازه گیری ها نسبت به یک پایه ثابت می‌باشد.



شکل ۱ شمائی از نقاط نقشه برداری سطوح شیبدار در پروژه سد مسجد سلیمان برای شیوه قراول روی اتوماتیک

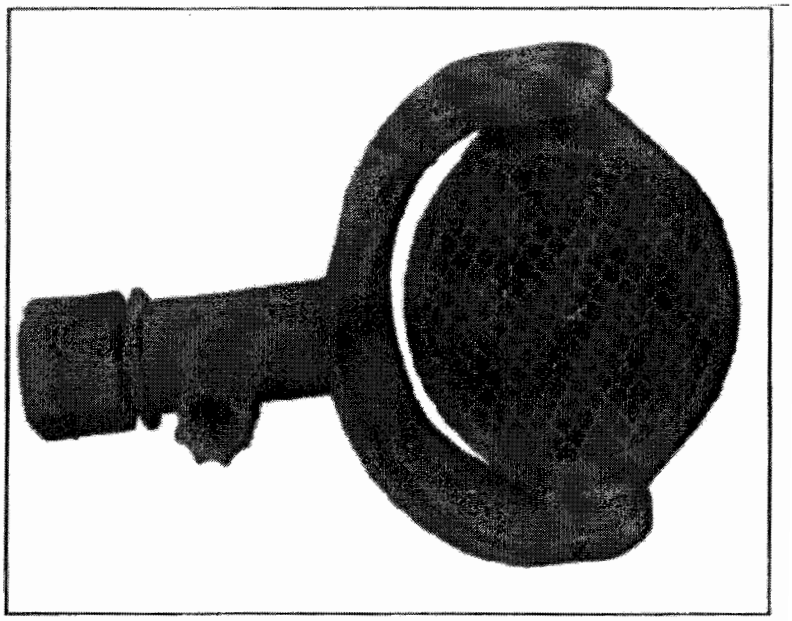
مزیت این روش آن است که وسایل نقشه برداری در حد کیفیت مورد نظر معمولاً درمحل وجود دارد و اکثر نقشه برداران خوب قادر به انجام اندازه گیری های مورد نیاز هستند. از عیوب این دو شیوه می توان: وقت گیری محاسبات بعدی، تداخل کار با سایر پرسنل در کارگاه و لزوم هوای تمیز و عاری از گرد و خاک، برای ایجاد دید برای نقشه برداری در حد کیفیت مورد نظر،که معمولاً در محل وجود دارد و اکثر نقشه برداران خوب قادر به انجام اندازه گیری های مورد نیاز هستند

۲-۲-ابزارهای مدرن نقشه برداری

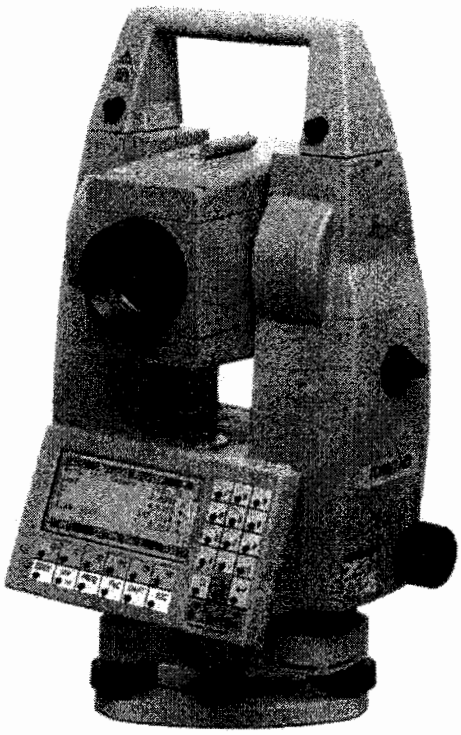
کار نقشه برداران با ورود دستگاههای الکترونیکی – نوری که قابلیت اندازه گیری فاصله را دارند کمی ساده تر شده است. دوربین الکترونیکی TPS 1100 یکی از دستگاههای الکترونیکی است که دقت اندازه گیری طول آن 2mm+2ppm و زمان لازم برای انجام این اندازه گیری ۱ ثانیه است. این دقت حتی در صورت عدم استفاده از علائم بازتابنده به 2mm+2ppm و زمان اندازه گیری به ۳ تا ۶ ثانیه می‌رسد. این دوربین می‌تواند حداکثر ۳۰۰۰ متر را قراول روی نماید. (شکل های ۲ و ۳). لذا می‌توان گفت دقت معمول در شیوه نقشه برداری در حد چند میلیمتر است.

در فضاهای زیرزمینی اگر دسترسی به نقاط اندازه گیری مورد نظر مشکل و یا اینکه تعداد آنها نسبتا زیاد باشد می‌توان با استقرار دوربین نقشه برداری مختصات نقاط و یا علائم بازتاباننده ای که دراین نقاط ثابت شده اند را اندازه گیری کرد و از این طریق جابجایی نقاط را بدست آورد.

از نظر مولف استفاده از این روش نقشه برداری در فضاهای زیرزمینی به عنوان روشی برای کنترل صحت تغییر مکان نقاطی که جابجایی قابل ملاحظه ای داشته اند مناسب است. لذا توصیه می گردد در زمان نصب ابزارهای زیرزمینی موقعیت آنها بطور دقیق نقشه برداری گردند تا در صورت نیاز با نقشه برداری های بعدی بتوان مقدار تغییر مکان سطحی حادث شده در موقعیت ابزار را تعین نمود. استفاده از شیوه نقشه برداری برای تبدیل جابجایی نسبی تعیین شده توسط ابزارهای دقیقی مانند کشیدگی سنج، انحراف سنج و نشست سنج به جابجایی مطلق شیوه ای رایج است.



شکل ۲ شمائی از بازتاباننده نور. ساخت شرکت Interfels [۱۳]



شکل ۳ شمائی از دوربین الکترونیکی نوری TPS100

فصل سوم :

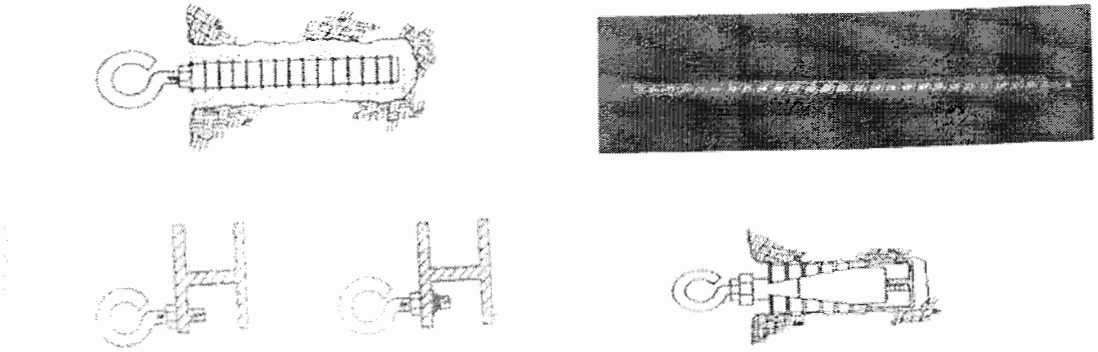
همگرا سنجی

۳-۱-مقدمه

ابزاری است که برای سنجش جابجائی نسبی نقاط سطحی سازه ها کاربرد دارد. این وسیله در انواع مختلف فضاهای زیرزمینی مانند: تونل، چاه و مغار استفاده می شود. سیستم همگرا سنجی از دو قسمت اصلی، پین و متر همگرا سنجی تشکیل شده است. در حفاری های زیرزمینی پین های همگرا سنجی بایستی در اولین فرصت نصب گردند تا تغییر شکل سطحی ناشی از دور شدن سینه کار حفاری، خزش زمین و یا کنش حایل بندی تعیین گردد.. بسته به جنس زمین فاصله مقاطع می‌تواند بین ۲۵ تا ۱۰۰ متر باشد. البته در موارد خاص مانند محل عبور فضاهای زیرزمینی از نزدیکی یکدیگر (کنار یا روی هم) این فاصله می‌تواند به حدود چند متر تقلیل یابد. از مزایای روش همگرا سنجی می‌توان به: سرعت سهولت و ارزانی نسبی در نصب نقاط اندازه گیری و قرائت های مربوطه اشاره کرد.

۳-۲- پین همگرا سنجی

نحوه اتصال پین به سازه به ویژگیهای سازه بستگی دارد، (شکل ۴) . توصیه می شود طول پین ها در فضاهای زیرزمینی در حدود ۴۰ سانتیمتر در درون توده سنگ قرار داده شده باشد.اتصال پین ها به سازه با دوغاب، پوسته منبسط شونده، پیچ و مهره یا جوش ممکن می گردد. سر پین می‌تواند بصورت حلقه ای یا پیچی باشد که نوع دوم بیشتر توصیه می شود. نصب پوشش محافظ بر روی پین ها ضروری است.



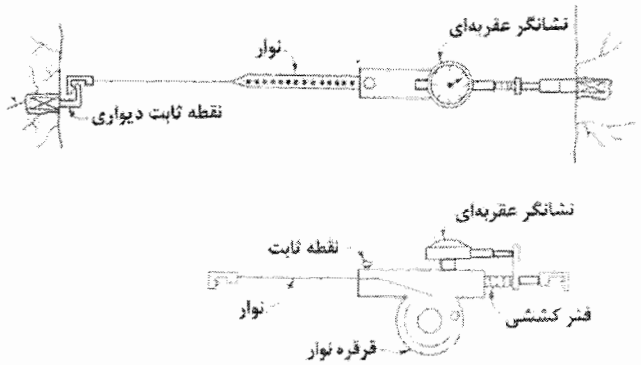
شکل ۴- شمائی از انواع پین های همگرا سنجی، پین تزریقی با سر پیچی (بالا راست)، پین تزریقی با سر حلقه ای (بالا چپ)،پین پوسته منبسط شونده با سر حلقه ای (پایین راست)، پین پیچی با سر حلقه ای (پایین چپ) [۵]

۳-۳- متر همگرائی سنج

متر همگراسنجی می‌تواند به صورت های: نواری، سیمی، لوله ای و التراسونیک باشد. انواع مترها سیار بوده و بایستی در محل مورد نظر قبل از انجام قرائت، کالیبره شوند.

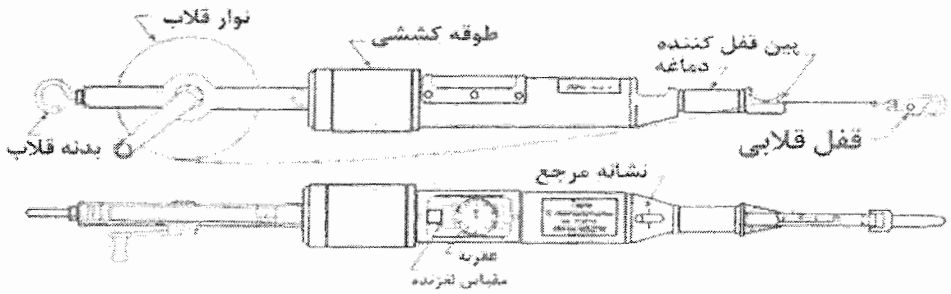
الف) متر نواری

این متر از یک نوار فولاد سوراخکاری شده با فواصل ۵۰ میلیمتری تشکیل شده است. یک سر متـر به نقطه اندازه گیری اول و سر دیگر متر که به نوار فولادی متصل است به نقطه اندازه گیری دوم وصل شده سپس نوار فولادی کشیده می‌شود، شکل (۵). بایستی از عدم تاب برداشـتن متـر نـواری قبـل از کشش، خصوصا در طول های زیاد مطمئن شد.



شکل ۵ طرح شماتیک متر نواری [۶]

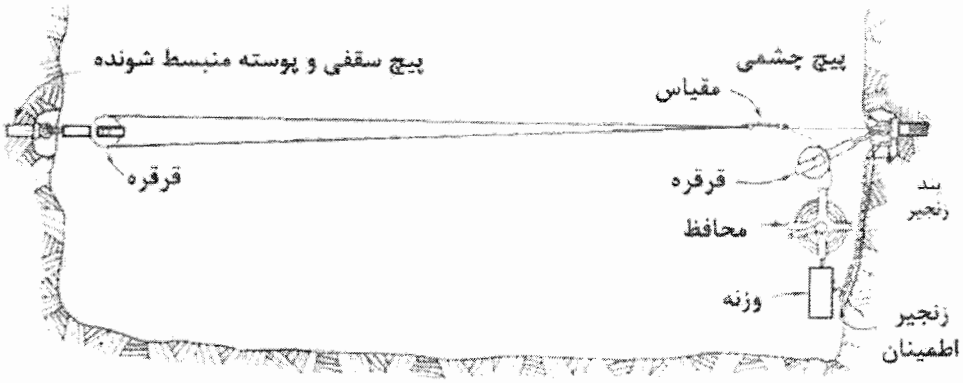
در برخی از انواع متر مقدار کشش توسط فنر قابل انقباطی کنترل می‌شود و در برخی دیگر کشش با چرخاندن یک طوقه کششی تا زمانی که نشانگر تعبیه شده در متر درموقعیت خود قرار گیرد، کنترل می شود، (شکل ۶). پس از مرحله کشش، قرائت انجام می‌شود. تکرار پذیری اندازه گیری در این شیوه در حدود ±۰/۱۳mm در یک دهنه ۱۰ متری است و با افزایش دهنه دقت کـاهش مـی یابـد. حـداکثر طول دهنه تقریبا ۶۰ متر است [۵]



شکل ۶ متر نواری: با نشانگر تنظیم کشش ساخت شرکت Slopeindicator [۱۹]

ب) متر سیمی

متر سیمی از نظر کاربرد و دقت مانند متر نواری است. سیم این مترها طولشان در مقابل تغییر دما بسیار مقاوم است (با ۱۰ درجه تغییر دما در طول ۳ متری فقط ۵ صدم میلیمتر افزایش طول بوجود می آید) با توسعه و پیشرفت انواع سیم های مقاوم تکرار پذیری اندازه گیری تا ±۰/۰۳mm برای دهنه ۲۰ متری و یک میلیونیوم دهنه برای دهنه های تا ۵۰ متر افزایش یافته، ـ(شکل ۷) نوعی متر سیمی بنام دیستوماتیک در فرانسه بسیار رایج است. در این متر عملیات کشش توسط یک موتور الکتریکی صورت می گیرد و تکرار پذیری آن برای یک دهنه ۶ متری ±۰/۰۳mm و برای دهنه ۲۵ متری ±۰/۰۵mm است. در برخی منابع این متر با نام کشیدگی سنج سیمی معرفی شده است. [۵]

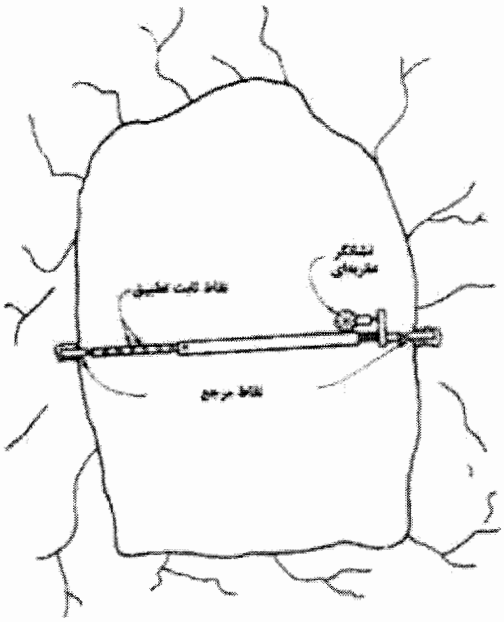


شکل ۷ شمائی از متر سیمی [۶]

ج) متر میله و لوله

این متر معمولا از میله های تلسکوپی یا لوله های صلب، نشانگر عقربه ای یا میکرومتر و نشیمنگاهی که توسط میخ هایی جفت و بست می‌شود تشکیل شده است. بازه مورد استفاده از این ابزار بسته به مدل آن از ۱۵۰ میلیمتر تا ۸ متر است. این ابزار جایگزینی برای مترهای سیمی و نواری در دهنه های قائم تونل ها و معادن است که دسترسی به نقاط اندازه گیری مرتفع بسهولت امکان پذیر نیست .تکرارپذیری اندازه گیری برای دهنه های قائم بطور معمول ±۰/۱۳mm است. بهر حال تکرار پذیری دردهنه های افقی یا اریب (بعلت شکم دادگی) کمتر شده و برای دهنه های بیشتر از ۳ متر به

کمتر از ۰/۳m± می‌رسد [۵]. در برخی منابع برای همگرا سنج های میله و لوله ای عنوان کشیدگی سنج میله و لوله ای بکار برده شده است، (شکل ۸) [۶]



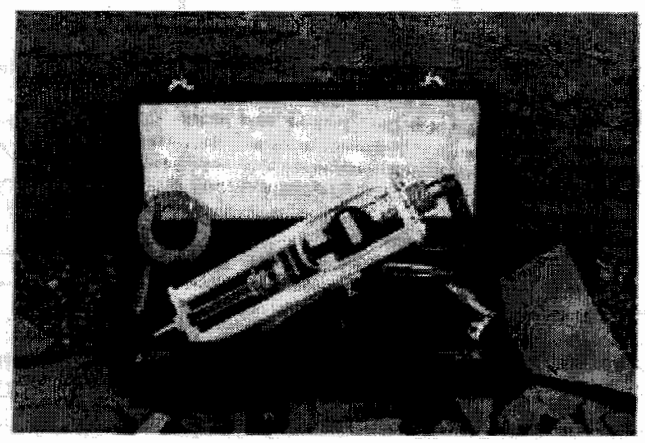
شکل ۸ شمائی از سیستم متر و میله و لوله [۵]

د)متر التراسونیک

این ابزار توسط اداره معادن آمریکا در سال ۱۹۸۴ معرفی شد و در آن از فناوری امواج مافوق صوت برای برآورد همگرائی استفاده می‌شود. در این ابزار از یک فرستنده کوچک مافوق صوت که در هر ۶ ثانیه موجی را می فرستد استفاده شده است. این امواج از طریق هوا فرستاده و پس از انعکاس به روی هر سطحی که فرستنده در آن تعبیه شده باز می گردد. زمان سیر موج بوسیله ابزارهای دقیقی محاسبه و به فاصله تبدیل می‌شود. این ابزار بیشتر در معادن و برای اندازه گیری سرعت تغییرات فاصله سقف و کف و یا قاب با قاب و اعلام زمان خطر مورد استفاده قرار می گیرد. این ابزار برای همگرایی های کمتر از ۱/۳ میلیمتر توصیه نمی شود. و بازه اندازه گیری آن از ۰/۳ تا ۱۱ متر است. لذا این ابزار بیشتر برای استخراج های جبهه کار طولانی، برداشتن ستون ها و سایر عملیات های معدنی که در آنها حرکات بزرگی در زمین رخ می دهد مناسب است[۵].

۳-۴-یک تجربه

در این قسمت یک کاربرد عملی همگراسنجی با متر نـواری در فـضاهای زیرزمینـی نیروگـاه طـرح توسعه مسجد سلمان ارائه شده است. شمائی از متر نواری در (شکل ۹) و مشخصات آن در جدول (۱) آورده شده است.



شکل ۹ شمائی از متر نوارری ساخت شرکت پایاب زمزم [۱۷]

جدول ۱ مشخصات متر نواری ، ساخت شرکت پایاب زمزم

مدل	1300
طول اندازه گیری (m)	30
دقت (mm)	0.01
ابعاد (cm)	25x15x40
نوع قرائت کننده	Dial/Digital
وزن (kg)	6

موقعیت و تعداد پین ها به پارامترهای زیر بستگی دارد:

۱) شکل وابعاد سازه زیرزمینی

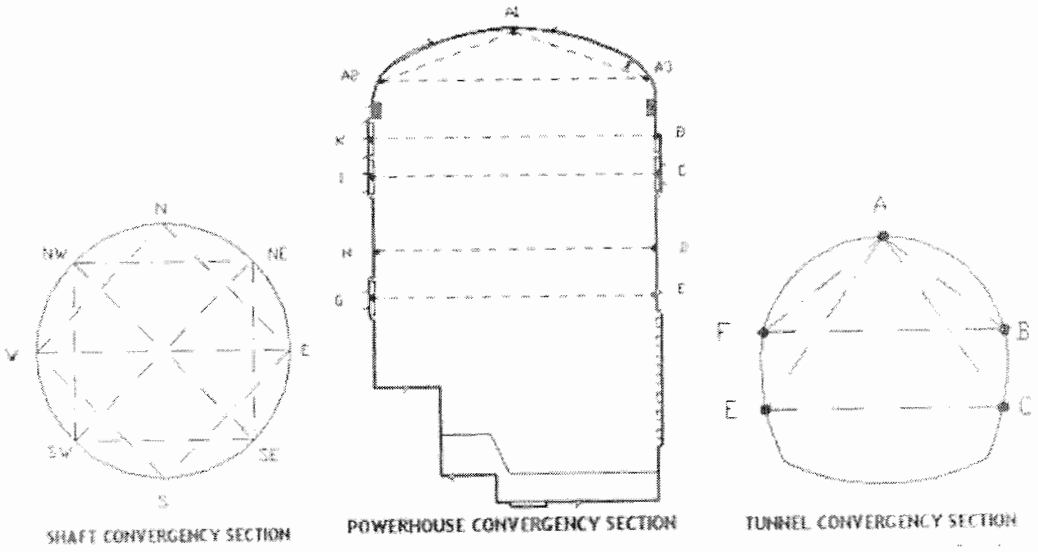
۲) اهمیت کاربری سازه زیرزمینی

۳) وضعیت زمین شناسی محیط پیرامون سازه مورد نظر

۴) سهولت نصب، حفاظت پینها و قرائت مقاطع همگرایی سنج

در تونلها غالبا مقاطع اندازه گیری ۳ یا ۵ پینی است. ولی در چاه ها و مغاره هـا تعـداد ایـن نقـاط معمولا بیشتر است. در شکل (۱۰) نمونه هایی از مقاطع همگرا سنجی آورده شده است[۶].

پس از تعیین موقعیت پین ها در سطح سازه زیرزمینی، چالهایی متناسب با قطر و طـول پـین (بـر اساس مشخصات کارخانه سازنده پین) حفر می گـردد (قطـری در حـدود دو برابـر قطـر پـین توصـیه می‌شود)



شکل ۱۰ انواع مقاط همگرایی سنج در فضاهای زیرزمینی، تونل (راست)، مغار نیروگاه (وسط)، چاه (چپ) [۴]

هنگام حفاری بایستی حداقل زیان به سنگ پیرامون چاه برسد، از ایـن رو اسـتفاده از آن دسـته از دستگاههای حفار که دارای مته چرخشی یا چرخشی ضربه ای است توصـیه مـی گـردد. پـین همگـرا سنجی از نوع تزریقی با سرپیچی است که طول آن ۴۰ سانتیمتر باشد.

پس از حفر و تمیز کردن چالی بطور تقریبی ۵۰ سانتیمتر آن را با دوغابی با نسبت آب به سـیمان ۰/۴ پر کرده سپس پین را درون چال قرار می دهیم و تا گیرش کامل دوغاب صبر می کنـیم. پوشـش

پین های اندازه گیری به گونه ای است که در اثر شرایط آبهای زیرزمینی و سایر شرایط محیطی دستخوش خوردگی نمی شود.

برای جلوگیری از ضربه به سر پین های اندازه گیری و بروز خطا در قرائت، استفاده از درپوش مناسب (پلاستیکی) ضروری است. بعلاوه برای محافظت پین ها از برخورد ماشین آلات و پرتاب سنگ، استفاده از محافظهای فلزی مقاوم الزامی است.

پس از گذشت ۲۴ ساعت از زمان نصب قرائت اولیه (صفر) مقطع انجام می گردد. برای سرعت بخشیدن به عملیات اجرایی می‌توان با افزودن مواد زودگیر به دوغاب زمان گیرش آن را کاهش داد. پس از قرائت اولیه بایستی قرائتهای بعدی را بر اساس برنامه خاصی که در ادامه تشریح شده است انجام داد.

در تعیین این برنامه قرائتی باید به موارد زیر توجه کرد:

۱) فاصله مقطع همگرایی سنج تا جبهه کار در حال پیشروی و یا هر فعالیتی که روی جابجایی پین ها تاثیر می گذارد.

۲) اهمیت کاربری سازه زیرزمینی و ترافیک آن

۳) حداکثر جابجایی تئوریک مجاز بر اساس مشخصات مکانیک سنگی و ناپیوستگیهای توده سنگ.

۴) موقعیت مکانی بحرانی در مقطع همگرا سنجی

با توجه به موارد فوق و تجربیات کسب شده از کل مجموعه همگرایی سنج ها می‌توان یک برنامه قرائتی مشخص ارائه کرد. تجربیات بدست آمده از مقاطع همگرا سنجی در خصوص برنامه قرائتی بطور خلاصه در جدول (۲) آورده شده است.

برای مغارهایی با عرض بیش از ۲۰ متر از روش نقشه برداری برای تعیین جابجایی ها استفاده می گردد. چرا که استفاده از مترهای نواری در طول های بیش از ۲۰ متر موجب افزایش تصاعدی مشکلات اجرایی میگردد.[۲].

جدول ۲ برنامه زمانی قرائت همگرا سنجها

جابجایی مرز حفاری	زمان قرائت
کمتر از ۰/۲۵ میلیمتر در ماه	هر دوماه یا بیشتر یک قرائت
کمتر از ۱ و بیشتر از ۰/۲۵ میلیمتر در ماه	هر ماه یک قرائت
کمتر از ۲ و بیشتر از ۱ میلیمتر در ماه	هر ماه دو قرائت
کمتر از ۲ و بیشتر از ۱ میلیمتر در هفته	هر هفته یک قرائت
کمتر از ۴ و بیشتر از ۲ میلیمتر در هفته	هر هفته دو قرائت
کمتر از ۷ و بیشتر از ۴ میلیمتر در هفته	هر هفته چهار قرائت
بیشتر از ۱ میلیمتر در روز	هر روز یک قرائت

بعنوان یک راهنمای کلی برای برنامه زمانی قرائتها می‌توان به موارد زیر توجه نمود[۲]:

۱) به ازای هر ۵ متر پیشروی سینه کار یک قرائت.

۲) هر روز تا زمانی که جابجایی پیوسته خطی محیط از میان برود (با توجه به شرائط زمین شناسی این مرحله بین ۲ تا ۳ برابر پهنای فضای زیرزمینی می‌باشد)

۳) بعد از مرحله ۱ یا ۲ دو بار در هفته برای یک ماه

۴) اگر جابجایی بیش از دو میلیمتر در ماه بود بصورت ماهانه قرائت شود.

۵) قبل از پوشش نهایی دیواره با بتن یا پوشش فلزی صورت گیرد.

فصل چهارم:

کشیدگی سنج

۴-۱ مقدمه

از کشیدگی سنج[1] برای اندازه گیری جابجایی های سطحی و عمقی مصالح پیرامون گمانه حفاری شده استفاده میگردد. گمانه می‌تواند در توده سنگ پیرامون فضای زیرزمینی، بدنه یک سازه خاکی و یا بتنی باشد.

کشیدگی سنج ها به سه گروه زیر تقسیم می شوند:

۱) کشیدگی سنج های لغزنده[2]

۲) کشیدگی سنج های ثابت درون گمانه ای[3]

۳) کشیدگی سنج های مدفون در خاکریز[4]

کشیدگی سنج ها بسته به تعداد نقاط اندازه گیری یا نشانه در چال به انواع: تک نقطه ای (SP)[5] و چند نقطه ای (MP)[6] تقسیم می شوند.

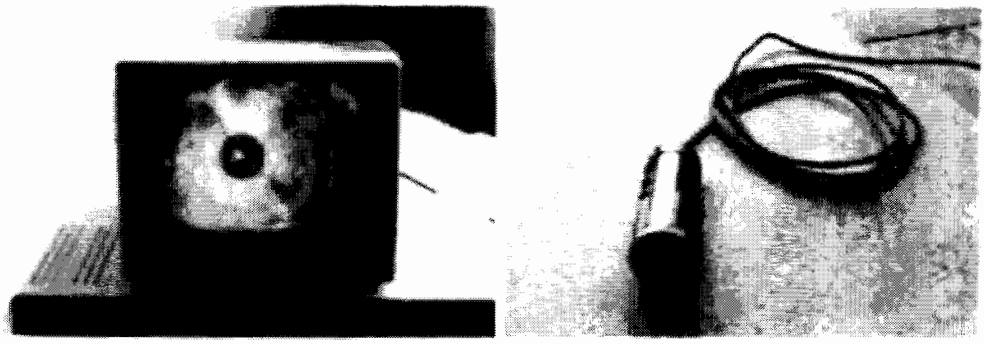
انتخاب نوع کشیدگی سنج بر اساس بررسی های فنی و اقتصادی کارشناسان خبره ابزار دقیق صورت می پذیرد. انتخاب مکان، راستا، طول و تعداد نقاط اندازه گیری برای کشیدگی سنج بستگی به ملزومات ساختمانی و ژئوتکنیکی پروژه دارد. در طراحی کشیدگی سنج عواملی چون: جهت و مقدار حرکات پیش بینی شده، موقعیت ابزار، علت نصب سایر ابزارهای دقیق، روش های اجرا و زمان اجرای عملیات های ساختمانی قبل، حین و بعد از نصب ابزار تاثیر گذارند.

اگر کشیدگی سنج در محلی نصب شود که پیچ سنگ برای نگهداری آن استفاده شده، بایستی آخرین نقطه اندازه گیری کشیدگی سنج عمیق تر از آن طول پیچ سنگ قرار داده شود. طول کشیدگی سنج بایستی با عمقی از سنگ که تحت تاثیر حفاری قرار دارد متناسب باشد. بطور مثال در تونلسازی قطر تونل و در شیب های سنگی ارتفاع شیب با عمق تاثیر سنگ ارتباط دارند. بعنوان یک قاعده کلی عمیق ترین نقطه اندازه گیری بایست حداقل در عمق ۲/۵ برابری قطر تونل، از محیط آن قرار داشته

---

1)Extensometer
2)Probe extensometer
3)Fixed extensometer
4)Embedded extensometer
5)Single point
6)Multiple point

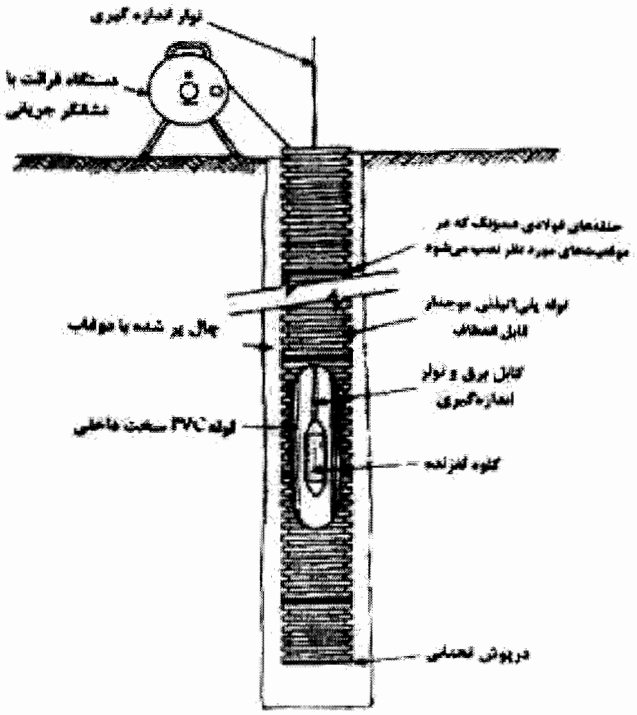
باشد. در صورت امکان برای کسب حداکثر اطلاعات از کشیدگی سنج، یک نقطه اندازه گیری را قبل و یکی را بعد از نواحی برشی یا درزه های پر شده قرار می دهند، این نواحی را می‌توان از روی مغزه های گرفته شده و یا در صورت عدم مغزه گیری با استفاده از دوربین های درون گمانه ای، (شکل ۱۱) یا پیروسکوپ درون گمانه ای برداشت نمود.[۶].



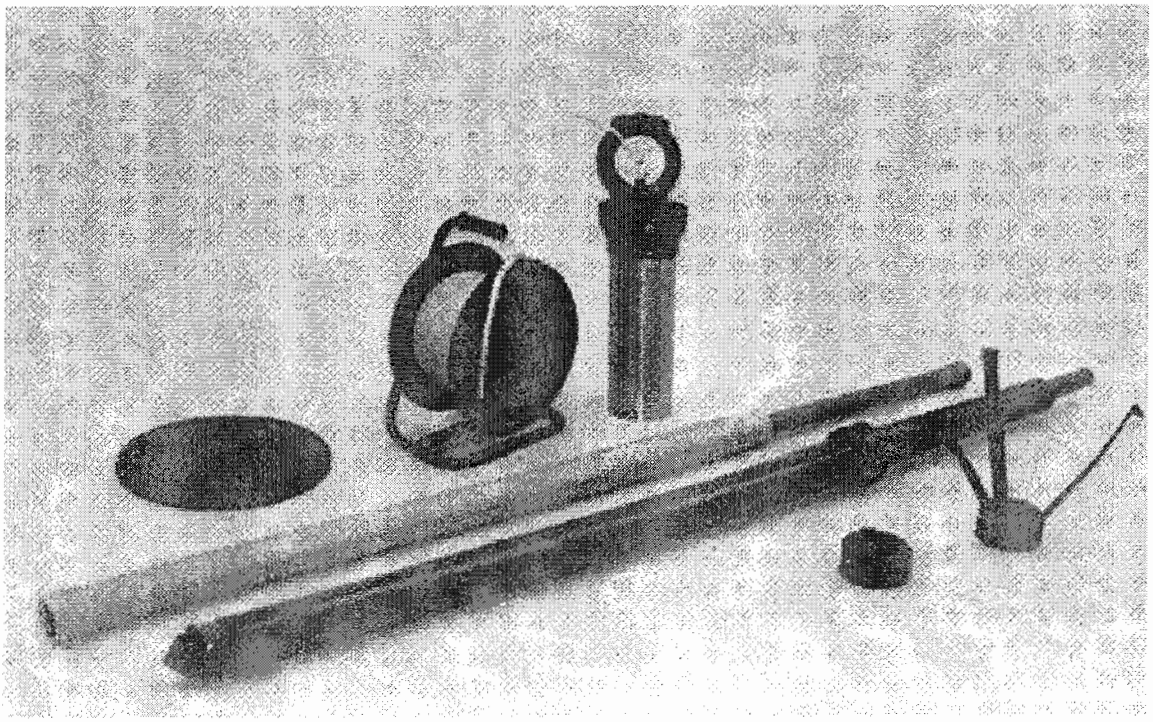
شکل ۱۱- شمائی از دوربین درون گمانه ای و مونیتور آن ساخت شرکت پایاب زمزم [۱۷]

۴-۲- کشیدگی سنج لغزنده

کشیدگی سنج لغزنده ابزاری است که برای رفتار نگاری تغییرات فاصله بین دو یا چند نقطه در طول محور مشترک چال که با استفاده از کاوه برای اندازه گیری استفاده می‌شود. این کار با عبور یک کاوه لغزنده از درون لوله راهنما انجام می‌شود. (شکل ۱۲) نقاط اندازه گیری در طول لوله راهنما بوسیله شاخص های مکانیکی، الکتریکی یا مغناطیسی (شکل ۱۳)، توسط کاوه لغزنده شناخته می‌شود و فاصله بین آنها بوسیله اندازه گیری موقعیت کاوه لغزنده تعیین می‌گردد. [۵]

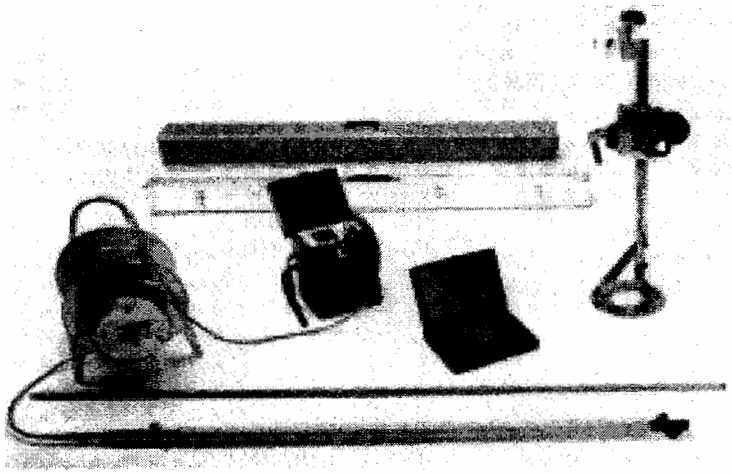


شکل ۱۲- شمائی از کشیدگی سنج لغزنده .[۵]



شکل ۱۳- شمائی از کشیدگی سنج لغزنده ساخت شرکت Sisgeo [۱۲]

برخی سازندگان، لوله راهنما را بگونه ای طراحی می کنند که بتوان از آن علاوه بر کشیدگی سنج لغزنده بعنوان لوله راهنمای انحراف سنج ها نیز استفاده کرد، (شکل ۱۴). در این حالت شاخص های اندازه گیری که بطور مثال حلقه های مخصوص فلزی است به محیط پیرامون لوله معمولاً با دوغاب متصل میشوند. دقت سیستم مستقل از عمق چال و مقدار آن ±۰/۰۵mm و بازه اندازه گیری ±۲۰mm است. برای سنگهای بسیار خرد شده و خاک ها از حلقه های خاصی که درون پوشش های ویژه ای قرار گرفته استفاده شده و تزریق دوغاب با لوله های مخصوصی انجام می‌شود.



شکل ۱۴- کشیدگی سنج نوع Increx با قابلیت استفاده درلوله راهنمای انحراف سنج ساخت Interefls [۱۳]

برای تعیین اطلاعات تغییر مکان مطلق بایست یکی از نقاط اندازه گیری در مکانی باشد که تحت تاثیر تغییر مکان قرار نگیرد یا مکان آن با استفاده از یک نقطه مبنا با روش نقشه برداری قابل اندازه گیری باشد. نکته قابل توجه آنکه در صورت استفاده از روش نقشه برداری برای تعیین تغییر مکان مطلق، دقت داده های تغییر مکان مطلق به دقت روش نقشه برداری بستگی پیدا خواهد کرد.

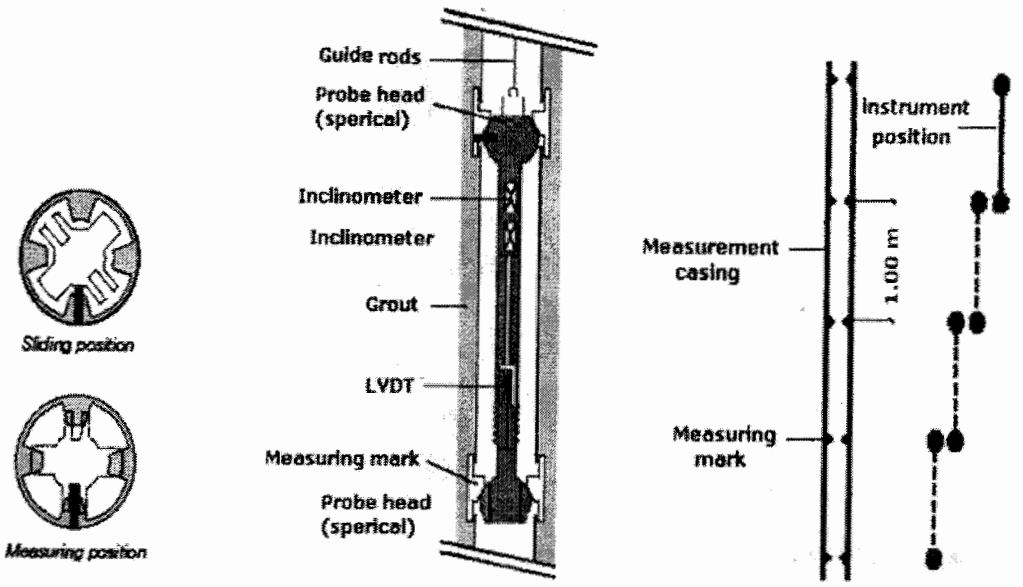
لوله راهنما ممکن است قائم (برای اندازه گیری یا نشست بالا آمدگی)، افقی (برای اندازه گیری تغییر مکان های ثانویه) یا ممکن است اریب باشد.

از کاربردهای رایج کشیدگی سنج لغزنده رفتار نگری فشردگی قائم در داخل توده های خاکی یا فونداسیون، نشست در طول حفاری های زیرزمینی، بالا آمدگی در کف حفاری های روباز و تغییر شکل های ثانویه در خاکریزها می‌باشد. در شرایطی که محدودیت تعداد نقاط اندازه گیری در کشیدگی سنج درون گمانه ای ثابت وجود داشته باشد معمولا کشیدگی سنج لغزنده توصیه می‌شود. دراین روش

مجموع هزینه های نصب و قرائت در طولانی مدت کمینه می‌شود اما معمولا اندازه گیری از دقت کمتری نسبت به اندازه گیری های کشیدگی سنج ثابت درون گمانه ای برخوردار است.

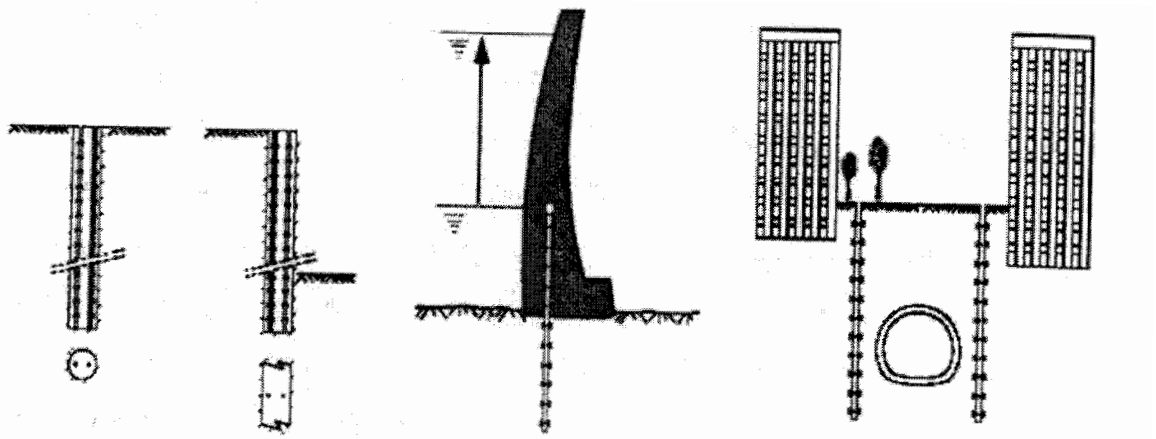
انواع مختلفی از کشیدگی سنج های لغزنده الکتریکی و مکانیکی وجود دارد که هر یک از مزایا و محدودیت های دارند که با مراجعه به منبع [۵]می‌توان اطلاعات جامع تری درباره آنها بدست آورد.

شرکت SOLEXPERTS با تلفیق نمودن کشیدگی سنج لغزنده با انحراف سنج نوعی کشیدگی سنج لغزنده سه بعدی (با نام تجاری TRIVEC) با قابلیت اندازه گیری تغییر مکان در سه جهت عمود بر هم تولید کرده است، (شکل ۱۵). [۸]



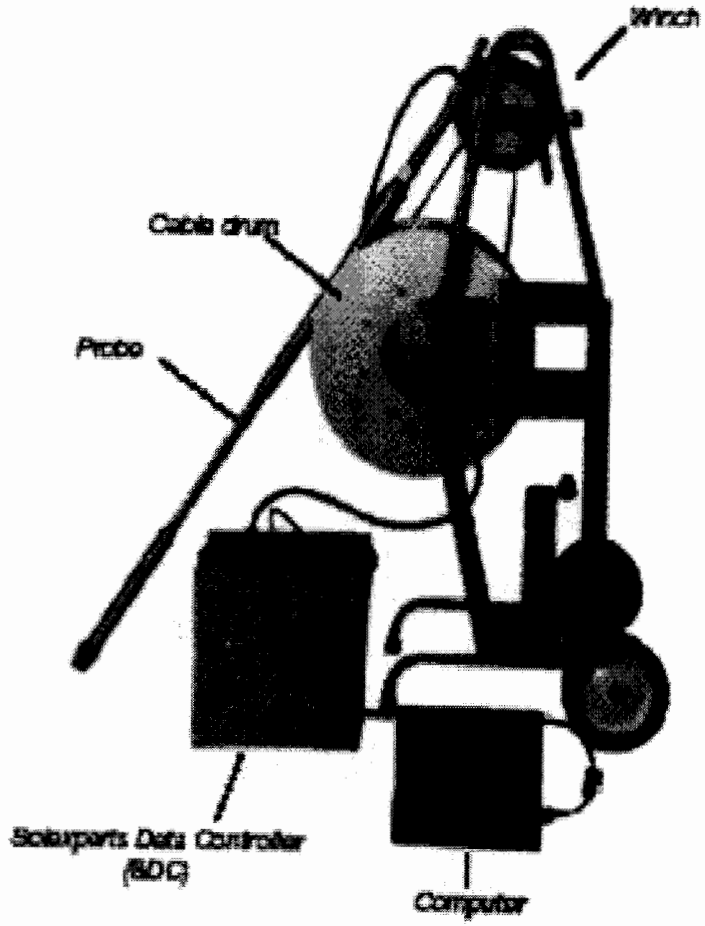
شکل ۱۵- شمائی از لوله راهنما (راست) و کاوه لغزنده (وسط) و مقطع قسمتهای لغزش و اندازه گیری (چپ) [۸] ، [۱۸]

از این ابزار در بدنه سدها برای تشخیص توزیع کرنش، جابجایی افقی در یک گمانه قائم و بررسی تأثیر پر و خالی شدن آب ذخیره شده در پشت سد و تعیین نشست و جابجایی افقی درمحیط های شهری در اثر حفاری تونل های زیرزمینی استفاده می‌شود، (شکل ۱۶).



شکل ۱۶- شمائی از کاربرد کشیدگی سنج لغزنده سه بعدی TRIVEC در محیط های شهری (راست)، و بدنه سد (وسط) و ستون های بتنی (چپ) [۸].

دقت اندازه گیری کرنش TRIVEC بیشتر از ±۳mμ/m دقت اندازه گیری شیب بیش از ±۰/۰۵mm/m و طول کشیدگی سنج می‌تواند به حدود ۱۰۰ متر برسد، (شکل ۱۷). روشن شدن وضعیت جابجایی ها در ۳ جهت عمود بر هم در طول گمانه از نظر طراحی بسیار ارزشمند و مشکلات تفسیر داده های کشیدگی سنج های یک بعدی را مرتفع نموده است.



شکل ۱۷ شمائی از کشیدگی سنج لغزنده سه بعدی TRIVEC ساخت شرکت SOLEXPERT [۱۸]

۴-۳- کشیدگی سنج درون گمانه ای ثابت

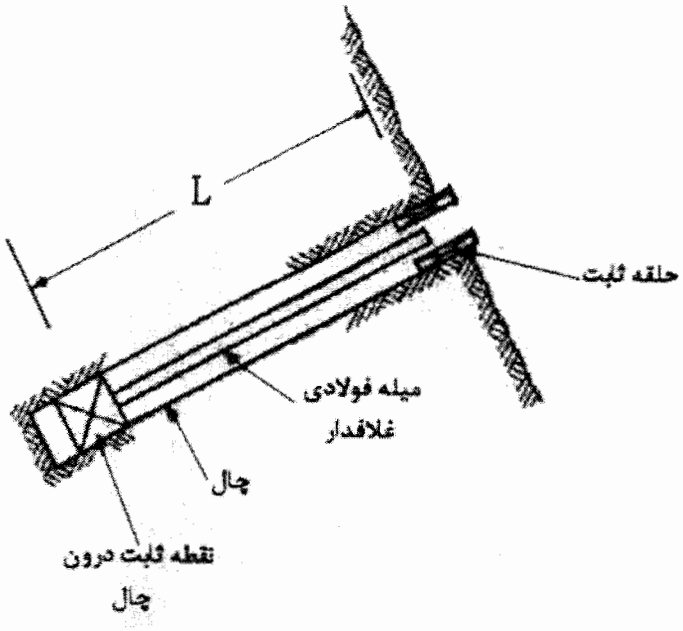
این کشیدگی سنج غالباً درون گمانه ای در خاک یا سنگ نصب می گردد تا تغییر فاصله نسبی بین دو یا چند نقطه در طول محور گمانه را بدون استفاده از کاوه لغزنده اندازه گیری نماید. هر گاه موقعیت یکی از نقاط اندازه گیری نسبت به یک نقطه مبنا معین باشد می‌توان تغییر مکان مطلق را نیز با استفاده از این ابزار بدست آورد.

در فضاهای زیرزمینی کشیدگی سنج را می‌توان از سطح زمین (اگر سرباره فضای زیرزمینی کم باشد)، از تونل های دسترسی، سایر فضاهای زیرزمینی مجاور یا از داخل خود فضاهای زیرزمینی نصب کرد. اگر ابزار قبل از حفر فضای زیرزمینی نصب شود می‌توان کل جابجایی حاصل از حفر فضای زیرزمینی (تغییر مکان مطلق) را اندازه گیری کرد. به این ترتیب امکان اندازه گیری بخش همگرایی

حاصل از گذشتن سینه کار، بیشتر فراهم می گردد و امکان مقایسه مناسب تر نتایج تحلیل های عددی با مقادیر واقعی فراهم می‌شود. [۵]

از مهمترین کاربردهای این ابزار رفتار نگاری تغییر مکان های توده سنگ پیرامون فضاهای زیرزمینی و سطوح شیبدار است. بعلاوه این ابزار برای رفتار نگاری نشست های ناشی از متراکم شدن خاک، بالا آمدگی کف در حفاری های روباز و کرنش در سازه های بتنی نیز استفاده می شود.

اساس عملکرد کشیدگی سنج های ثابت درون گمانه ای در شکل (۱۸) نشان داده شده است.



شکل۱۸- طرح شماتیک اصول عملکرد کشیدگی سنج ثابت درون گمانه ای [۵]

تغییر فاصله نقاط اندازه گیری از سر کشیدگی سنج بوسیله یک رابط که یک سر آنها به نقاط ثابت و سر دیگر آنها در نزدیکی سر ابزار است با استفاده از ابزارهای مکانیکی یا انتقال دهنده های الکتریکی اندازه گیری می‌شود. می‌توان چندین نقطه درگیر در یک گمانه تعبیه کرد که هر یک بوسیله رابطی به قسمت سر گمانه ارتباط پیدا می کنند. در این حالت یک کشیدگی سنج چند نقطه ای بوجود می آید. کشیدگی سنج های چند نقطه ای برای رفتار نگاری تغییر مکان یا الگوی کرنش در طول محور گمانه بکار می رود. یک کشیدگی سنج چند نقطه ای معادل چند کشیدگی سنج تک نقطه ای است که در نزدیکی همدیگر نصب شده اند.

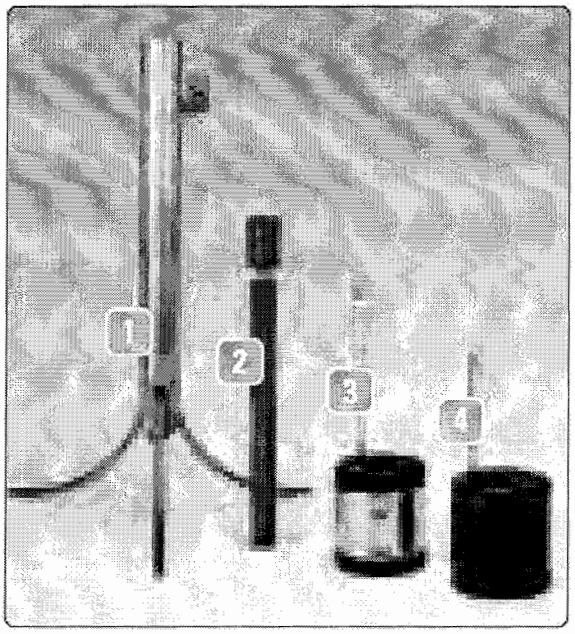
کشیدگی سنج های ثابت درون گمانه ای از نظر نوع وسیله انتقال دهنده جابجایی ازنقاط ثابت به سر کشیدگی سنج به دو گروه: میله ای و سیمی تقسیم می شوند. این ابزار از نقطه نظر نوع گیرداری

نقاط ثابت به شش گروه: پوسته منبسط شونده، دوغابی، هیدرولیکی، فنـری، صـفحه مـدفون و بـالنی تقسیم بندی می‌شود که در قسمت بعد به تفضیل تشریح شده اند.

۴-۳-۱- انواع گیرداری نقاط اندازه گیری

از لحاظ نوع اتصال نقاط اندازه گیری می‌توان کشیدگی سنج های ثابت درون گمانه ای را به شـش گروه زیر تقسیم بندی کرد، (شکل۱۹).

۱) پوسته منبسط شونده
۲) دوغابی یا رزینی
۳) هیدرولیکی
۴) حلقه فنری
۵) صفحه مدفون
۶) بالنی

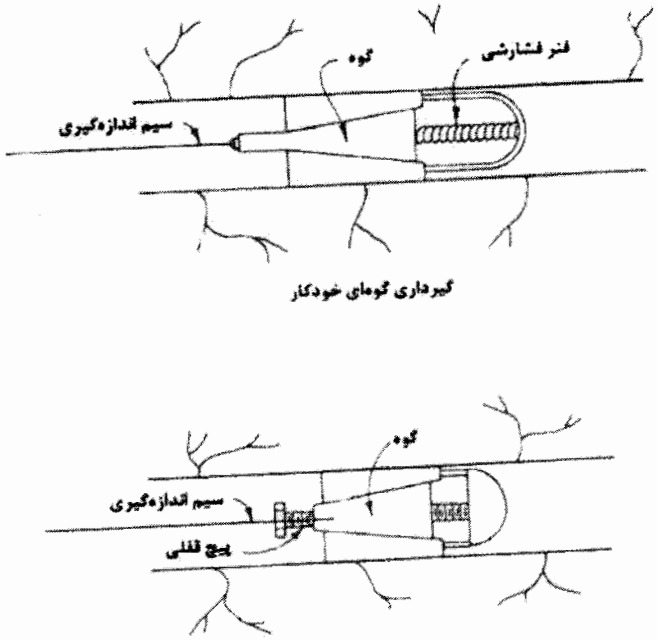


شکل ۱۹- شمائی از انواع گیرداری نقاط اندازه گیری: به ترتیب شماره، نوع هیدرولیکی مخصوص خاک – سنگ های نرم، دوغابی، هیدرولیکی برای سنگ- خاک نرم، حلقه فنری [۵]

انتخاب نوع و کیفیت اتصال نقاط درگیر بستگی به خصوصیات توده سنگ (خاک) و نحوه حرکت آتی مواد پیرامون کشیدگی سنج دارد. نکته مهم آنکه شیوه اتصال نقاط درگیر بایست بگونه ای باشد که کمترین تاثیر را در تغییر خواص مصالح پیرامون چال ایجاد نماید بعبارت دیگر شیوه اتصال نقاط درگیری نبایستی موجب تغییر قابل توجهی در خصوصیات توده سنگ (خاک) گردد. در چنین شرایطی مقادیر ثبت شده توسط ابزار معرف رفتار توده سنگ (خاک) می باشند.

الف) پوسته منبسط شونده

این شیوه گیرداری جزو روش های مکانیکی است که بیشتر درگیرداری کوتاه مدت سنگ های سخت استفاده می شود، (شکل ۲۰). لازم بذکر است که اگر پوسته منبسط شونده در محلی که تحت تاثیر لرزش های ناشی از نیروهای لحظه ای مانند لرزش ناشی از انفجار باشد ممکن است پوسته در چال بلغزد یا با حرکت گوه، پوسته در داخل چال نشست نماید. محدودیت دیگر آنکه در صورت استفاده از پوسته منبسط شونده دیگر هیچ پوشش محافظی برای وسیله انتقال دهنده جابجایی (یعنی میله یا سیم) وجود نخواهد داشت و این موضوع احتمال صدمه از طرف آب یا سنگ های لق و سست را افزایش می دهد.



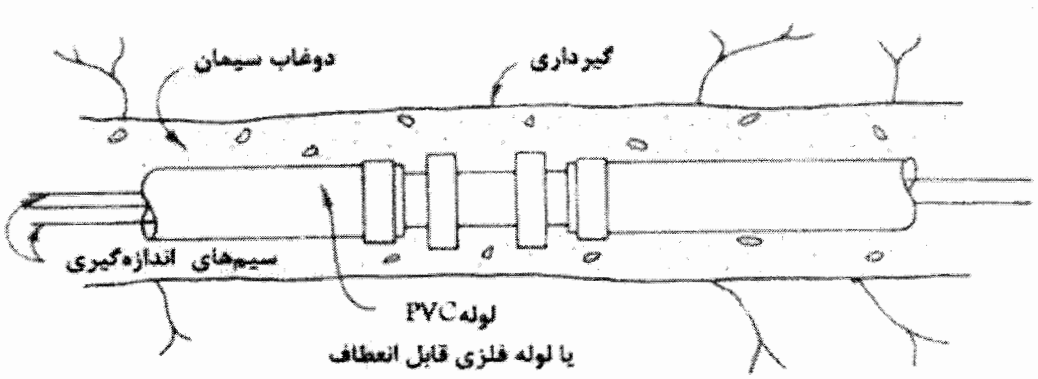
شکل ۲۰- شمائی از شیوه های اتصال پوسته منبسط شونده در نقاط اندازه گیری [۵]

ب) دوغابی یا رزینی

شیوه دوغابی یکی از روش های رایج برای گیر دار کردن نقاط درگیر در انواع کشیدگی سنج های ثابت است. پیش از ترزیق دوغاب بایستی فاصله بین نقاط اندازه گیری را با لوله PVC بگونه ای عایق کرد که دوغاب به میله یا سیم انتقال دهنده جابجایی نرسد، (شکل ۲۱). در چالهای عمیق تر از ۷/۵ متر بعلت فشار هیدرواستاتیک دوغاب امکان نفوذ دوغاب از محل اتصالات و یا حتی تخریب خود لوله وجود دارد لذا بایست از لوله های PVC پر شده از روغن یا لوله های پلی اتیلینی (PE) مقاوم و

همینطور ابزار و ادوات خاصی برای ایزوله کردن اتصالات استفاده شود. گیر دار کـردن رزینـی نیـز در عمل بسیار موفقیت آمیز بوده است.

نکته قابل توجه در شیوه دوغابی و رزینی آنستکه مقاومت و قابلیت تراکم دوغاب ورزین بایـست تـا اندازه ای با خاک و سنگ پیرامونش همگن باشد.[۳]

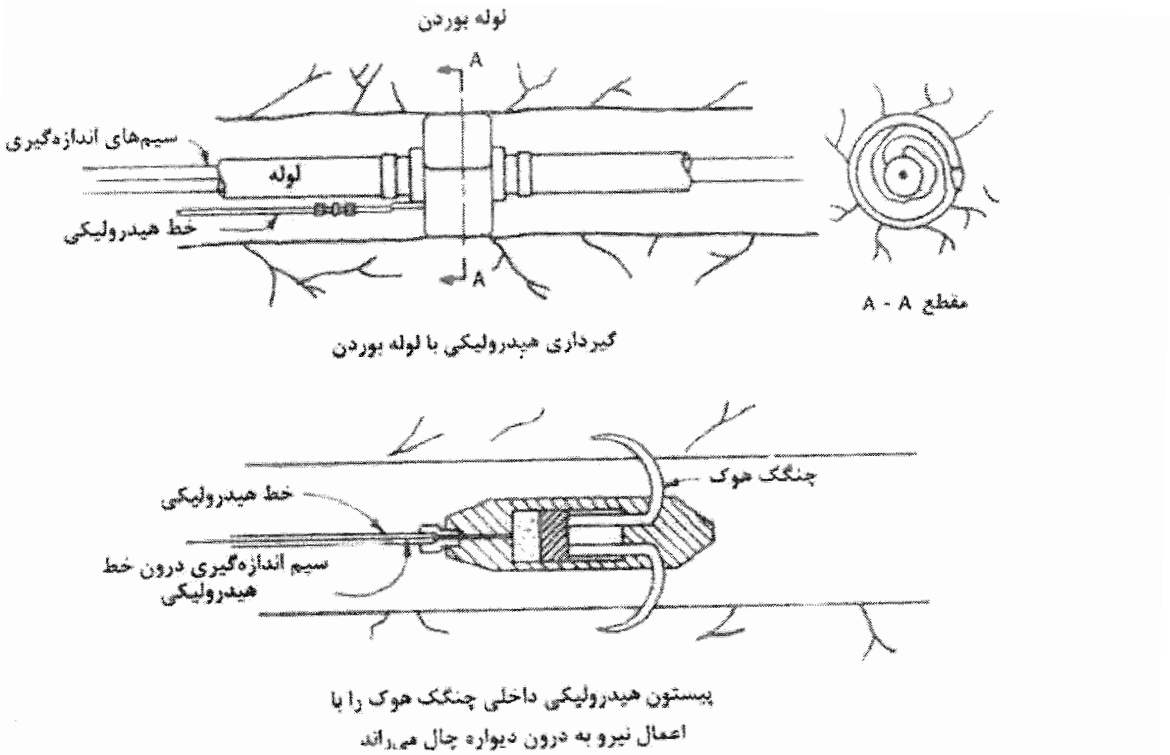


شکل ۲۱ -شمائی از شیوه اتصال دوغابی نقاط اندازه گیری [۳]

ج) سیستم هیدرولیکی

این شیوه گیرداری برای انواع سنگ های نرم و خاک بطور موفقیت آمیزی استفاده شده است.

(شکل ۲۲)



شکل۲۲ -دو نوع از سیستم های هیدرولیکی برای گیر داری نقاط اندازه گیری [۶]

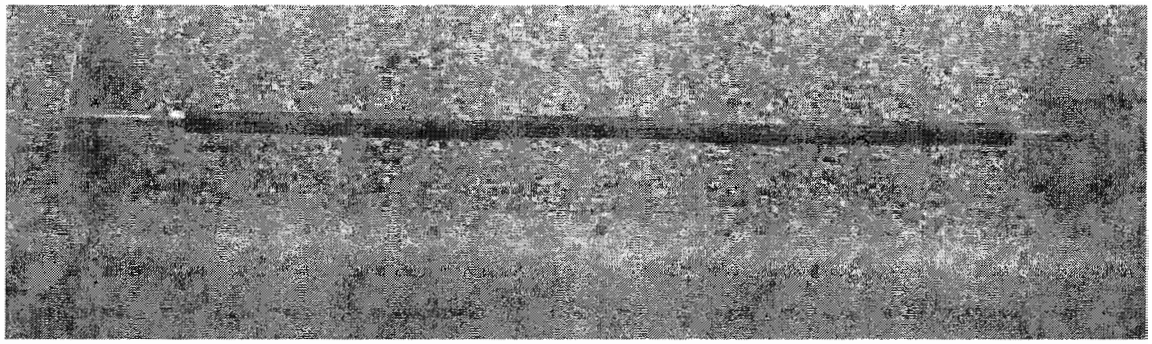
نوع چنگکی مخصوص سنگ های نرم و خاک است. مهمترین عیب این شیوه هزینه نسبتا بالای آن می‌باشد.

د) حلقه فنری

این شیوه از روش های مکانیکی است که برای سنگ های سخت مورد استفاده قرار می گیرد (شکل ۱۹)

ذ) صفحه مدفون

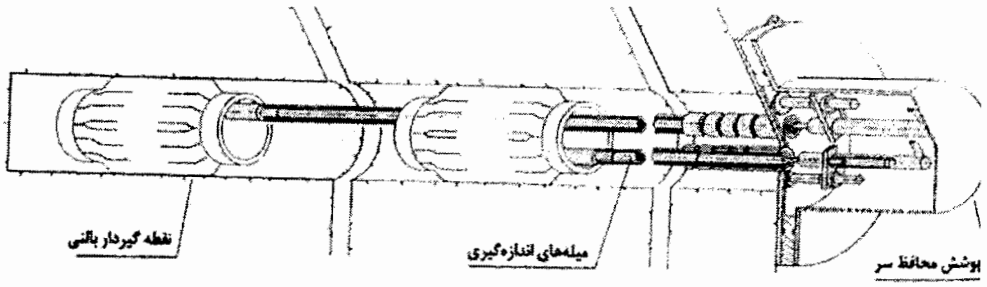
در این شیوه نقاط گیر داری بشکل یک صفحه نسبتا بزرگ اند که در موفقیت از پیش تعیین شـده در زیر خاک مدفون میشود. این شیوه در کشیدگی سنج های مدفون در زیر توده خاک ها کاربرد دارد، (شکل ۲۳).



شکل۲۳ -شمائی از کشیدگی سنج مدفون با نقاط گیر دار صفحه مدفون ساخت Sisgeo [۱۲]

م) بالنی

این شیوه گیرداری جز روش های نسبتاً جدید است که در آن برای گیرداری نقاط انـدازه گیـری از بالن های خاصی که در اثر تزریق دوغاب منبسط و ثابت می‌شود استفاده شده است، (شکل ۲۴).



شکل ۲۴- شمائی از کشیدگی سنج میله ای با نقاط گیر داری بالنی ساخت شرکت Interfels [۱۳]

دو مزیت عمده این روش در مقایسه باشیوه دوغابی عبارتند از :

۱) تاثیر منفی دوغاب بر روی خصوصیات مواد پیرامون چال تقریباً به صفر می‌رسد.

۲) عدم حساسیت به جابجایی برشی، چرا که در این حالت فضای بین میله های و چال با دوغـاب پر نشده است.

۲-۳-۴ انواع رابط انتقال دهندهٔ جابجایی

کشیدگی سنج های ثابت درون گمانه ای بر حسب نوع وسیله انتقال دهنده جابجایی بـه دو گـروه زیر تقسیم بندی می‌شوند (۲):

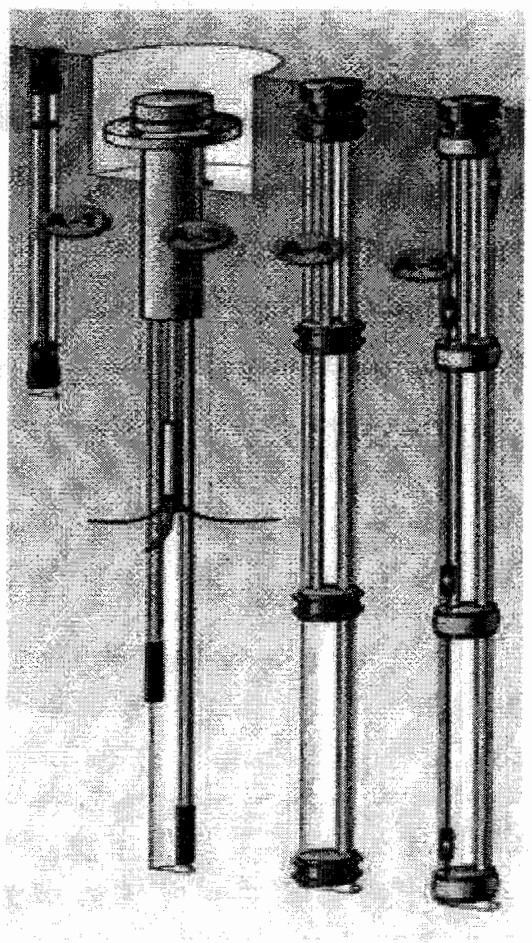
۱) میله ای

۲) سیمی

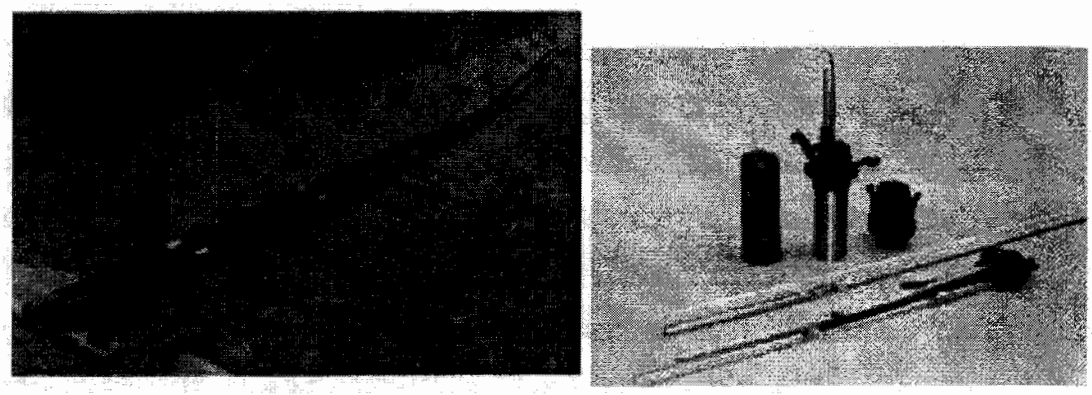
لازم به ذکر است که مزایای نوع میله ای بر نوع سیمی با افزایش طول تقلیل مـی یابـد .**[1]**.الـف)

میله ای

در کشیدگی سنج میله ای، جابجایی ایجاد شده بین نقطه درگیر و سر کشیدگی سنج را انتقال می دهد و از میله نازکی ساخته شده است، (شکل ۲۵).



شکل ۲۵- شمائی از انواع کشیدگی سنج میله ای با نقاط درگیری مختلف ساخت شرکت Geokon [۱۴]

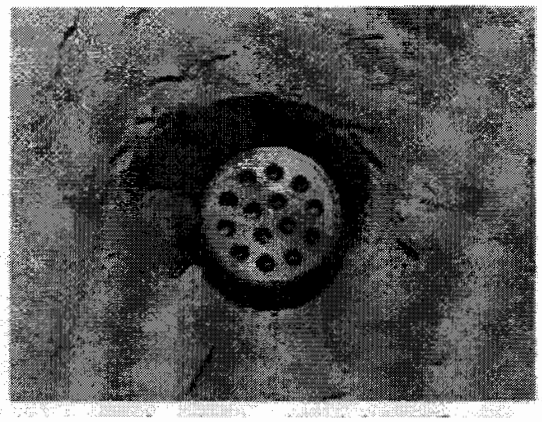


شکل ۲۶- شمائی از کشیدگی سنج های میله ای ساخت شرکت Geokon (راست)، ساخت شرکت پایاب زمزم (چپ) [۱۴] ، [۱۷]

قطر میله ها بین ۵ تا ۱۳ میلیمتر و جنس آن می‌تواند از فولاد معمولی، فولاد ضد زنگ، آلیاژ آلومینیم و فایبر گلاس و مواد غیر قابل انبساط باشند. یک ماده ترکیبی ازالیاف کربن و وینل استر با قابلیت استفاده در درجه حرارت های بالا نیز ساخته شده است که قابلیت رسیدن به ضریب انبساط حرارتی نزدیک به صفر را دارد. [۲]

در کشیدگی سنج های چند نقطه ای قطر میله ها نسبتا کمتر است. این کشیدگی سنج تا عمق ۴۵ متر بطور موفق استفاده شده است. لازم بذکر است که افزایش عمق چال مشکل انحراف آن را بهمراه دارد بعلاوه احتمال برخورد و اصطکاک میله ها با افزایش عمق و تعداد آنها بیشترمی شود که این مهم از عوامل بروز خطا در استفاده از این ابزار است.(شکل ۲۷) [۵].

در ابتدا میله ها بصورت حلقه ای شکل داده شده و یا بشکل قطعه ای صاف و مستقیم ۳ متری می باشند. انواع صاف معمولا بوسیله کوپلینگ رزوه ای به هم متصل می گردند. انواع حلقه ای فولادی و آلیاژ آلومینیومی ممکن است نیازمند صاف شدن پیش از اینکه در عمل استفاده شوند را داشته باشند. ولی این کار برای میله های حلقه ای فایبر گلاس ضرورتی ندارد. هر یک از میله بایستی درون پوشش پلاستیکی مجزایی قرار داده شوند این کار برای کاهش اثر اصطکاک بین میله ها یا میله و پوشش پلاستیکی صورت می پذیرد اگر چال های کشیدگی سنج شیب رو به پایین داشته باشند می‌توان این لوله های روکش را با روغن پر کرد. [۵]



شکل ۲۷ -شمائی از سر کشیدگی سنج ۱۴ نقطه ای با میله هایی از جنس فایبر گلاس، ساخت شرکت پایاب زمزم [۱۷]

به میله های درون پوشش گاهی اجازه داده می‌شود تا درون لوله پلاستیکی پوشش خود آزادانه حرکت کنند و گاهی هم توسط فنر های مارپیچی تحت کشش قرار داده می شوند. درخصوص موضوع تحت کشش قرار دادن میله ها اتفاق نظر وجود ندارد. طرفداران نظریه کشش میله ها به حداقل رساندن لقی سیستم را بعنوان مهمترین دلیل خود عنوان می دارند. از نظر مخالفان این نظریه چون چال های حفاری شده برای کشیدگی سنج ها کاملا مستقیم نیستند، کشش موجب افزایش تنش قائم بین راد و لوله پوشش آن می گردد که این امر موجب افزایش اثر اصطکاک و کاهش دقت می گردد. مخالفان این طرح همچنین عنوان می دارند که در صورت عدم کشش میله ها می‌توان در هر زمان اثر اصطکاک را مورد بازرسی قرار داد این کار با اضافه کردن یک جز اضافی بین میله و قسمت درگیر در درون چال ممکن می گردد. [۵]

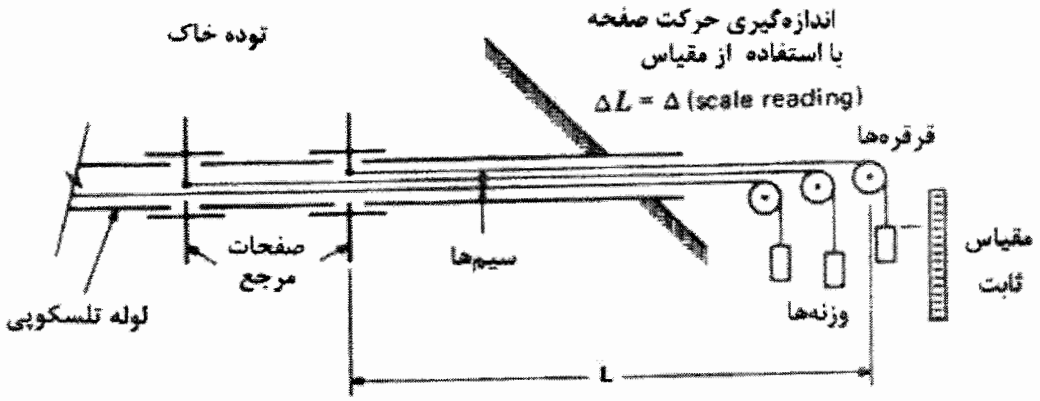
ب) کشیدگی سنج سیمی

در این کشیدگی سنج عامل رابط جابجایی از نقاط اندازه گیری به سر کشیدگی سنج سیم می‌باشد. معمولا سیم ها کابل های فولادی مجزایی با ضخامت ۰/۵ تا ۱/۳ میلیمتر هستند. وقتی از سیم استفاده می‌شود ضرورتاً با یستی با استفاده از ابزار های خاصی پیش از سر هم کردن کشیدگی سنج، صاف و مستقیم شوند چرا که در غیر اینصورت دقت بطور فاحشی کاهش می یابد.

سیم یا سیم ها بوسیله فنرها یا وزنه ها تحت کشش قرار می گیرد. از این ابزار برای اندازه گیری جابجایی های بزرگ در درون گمانه هایی تا عمق ۱۵۰ متر استفاده شده است. لازم به ذکر است برای

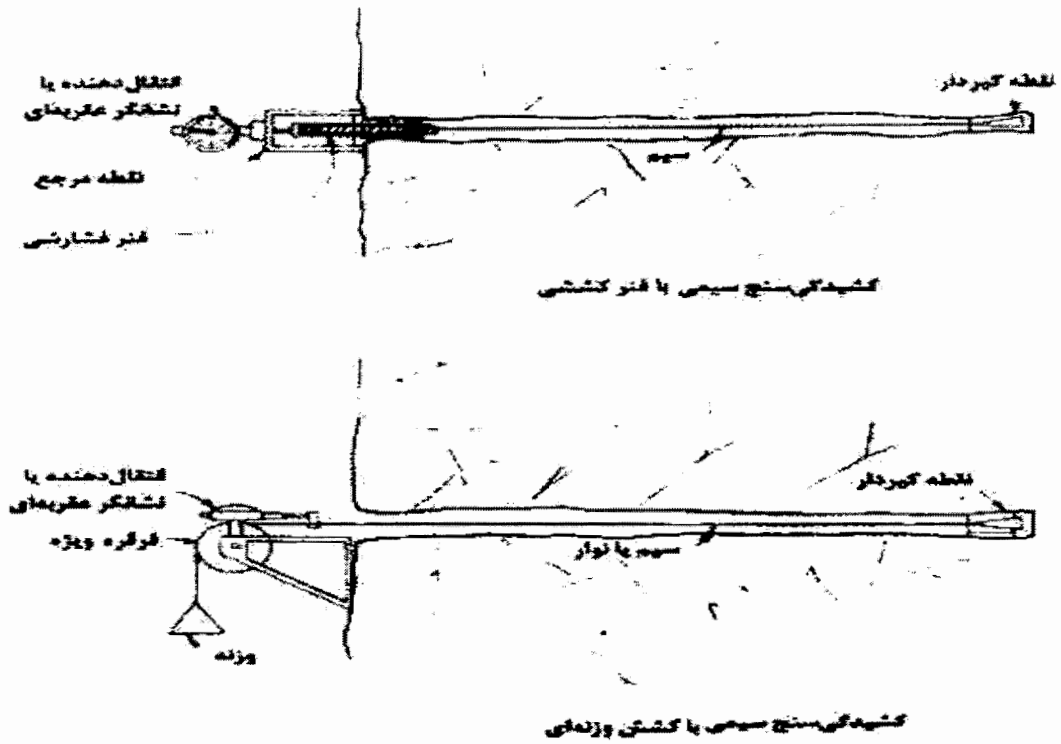
چالهای عمیق تر بایست از سیم های مقاوم تر و نیروی کشش بیشتری استفاده کرد. اگرمحیط پیرامون چال استحکام لازم را نداشته باشد لازم است از پوشش لوله ای برای محافظت از سیم استفاده کرد.

(شکل ۲۸)



شکل ۲۸- شمائی از کشیدگی سنج سیمی [۵]

هنگامی که امکان تغییر کشش در سیم در اثر استفاده از فنر ارتجاعی یا از سگدست وجود داشته باشد، کشش سیم در محاسبات در نظرگرفته می‌شود. کشش سیم در کشیدگی سنج با بروز حرکت ممکن است تغییریابد و فاکتورهای کشش سیم معمولا توسط شرکت سازنده ارائه می گرد.این فاکتورها گاهی اوقات بعد از نصب کشیدگی سنج تغییر می یابد. برخی طراحان کشیدگی سنج به مسئله کشیدگی سیم را با استفاده از ابزاری که نیروی کشش را ثابت نگه می دارد برطرف نموده اند. استفاده از فنر برای اعمال یک نیروی کشش ثابت زمانی مناسب است که بازه اندازه گیری بسیار گسترده باشد، اما نبایستی از آنها در کاربرهایی که نیازمند دقت بالایی در یک بازه کوچک اند استفاده کرد چرا که دقت دراثر خستگی محدود می گردد. با وجود صورت نسبتاً نازیبایی قرقره هاو وزنه های آویزان، وزنه ها کشش کنترل شده مناسبی را تامین می کنند و انتخاب مناسبی برای کشیدگی سنج های سیمی تحت کشش دائمی هستند در صورتیکه شکل ظاهری کشیدگی سنج قابل قبول باشد، (شکل۲۹).[۲]



شکل ۲۹ -شمائی از انواع کشیدگی سنج سیمی با تامین کننده نیروی فنری (بالا) و وزنه ای (پایین) [۵]

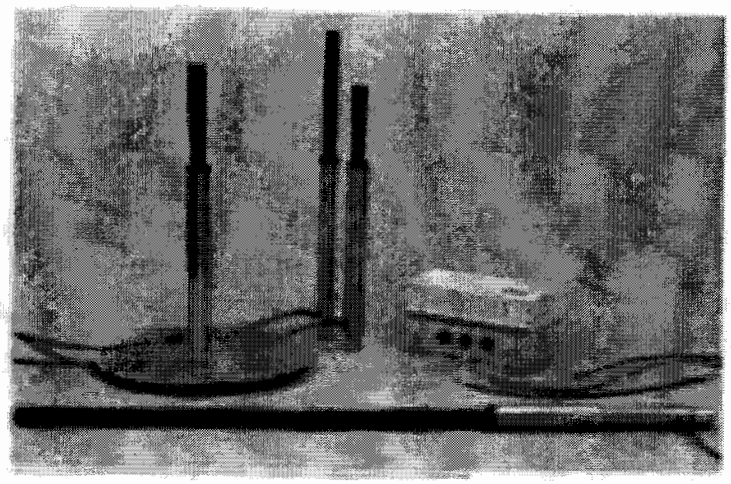
۴-۴-کشیدگی سنج های مدفون در خاکریز

کشیدگی سنج های مدفون در خاکریز ابزارهایی هستند که درون پشته های خاکی (مانند سدهای خاکی یا سنگریزه ای) در حین پیشرفت کار قرار داده می شوند. این ابزار تغییرات فاصله بین دو یا چند نقطه در طول یک محور مشترک را بدون اینکه نیازی به استفاده از کاوه لغزنده باشد،رفتار نگاری می کند. کشیدگی سنج های مدفون را برای رفتارنگاری نشست، تغییر شکل افقی یا کرنش مورد استفاده قرار می دهند.

آگاهی کامل از وضعیت تغییر شکل سد و پی آن در صورتی امکانپذیر است که اندازه گیری ها در جهات افقی و قائم بطور کامل انجام پذیرد.اندازه گیری های مربوط به نشست در یک سد معمولاً در هسته سد و در محل تماس هسته با پوسته انجام میگیرد. در هنگام کوبیدن هسته و در اثر وزن لایه های فوقانی و تراکم پذیری مصالح هسته، این مصالح تمایل به نشست بیشتری نسبت به مصالح پوسته دارند، در نتیجه در محل تماس پوسته با هسته یک نیروی برشی به دلیل مقاومت نشست آزادانه هسته ایجاد می گردد که در این حالت تنش کل در هسته از مقدار تنش سربار کمتر خواهد شد. برای بررسی این پدیده (قوس زدگی) که می‌تواند منجر به وقوع ترک خوردگی در هسته گردد، اندازه گیری نشست

در مرز پوسته با هسته سد بسیار ضروری است. از جمله مهمترین ابزارهای اندازه گیـری ایـن نشـستها کشیدگی سنج مدفون می‌باشد.

نوع دیگری از کشیدگی های سنج های مـدفون خـاکریزه ای وجـود دارد کـه کـاربرد آن در رفتـار سنجی کرنش های ثانویه در توده های خاکی و سدهاست. این مجموعه شامل رادهای تلسکوپی با بازه جابجایی ۵۰ تا ۲۰۰ میلیمتر است، (شکل ۳۰)



شکل ۳۰- شمائی از کشیدگی سنج مدفون در خاکریز ساخت Sisgeo [۱۲]

۴-۵- یک تجربه

کشیدگی سنج های مورد استفاده در طرح توسعه نیروگاه مسجد سلیمان در سـقف و دیـواره هـای مغار نیروگاه و ترانسفورمر برای اندازه گیری ناحیه تحت کشش در پیرامون فضای زیرزمینی نصب شده اند، این کشیدگی سنج ها از نوع میله ای و دارای مشخصات زیر است، (شکل ۳۱):

۱) قطر خارجی پوشش پلاستیکی ۳۲ میلیمتر و قطر داخلی آن ۱۸ میلیمتر است.
۲) جنس میله ها از فایبر گلاس و قطر آن ۶ میلیمتر است.
۳) طول سر و قسمت های گیر دار ۲۵۰ میلیمتر و جنس آنها از برنج است.
۴) قطر نقاط درگیری ۳۴ میلیمتر است.
۵) محدوده کشیدگی نقاط درگیری۲۰۰ میلیمتر است.

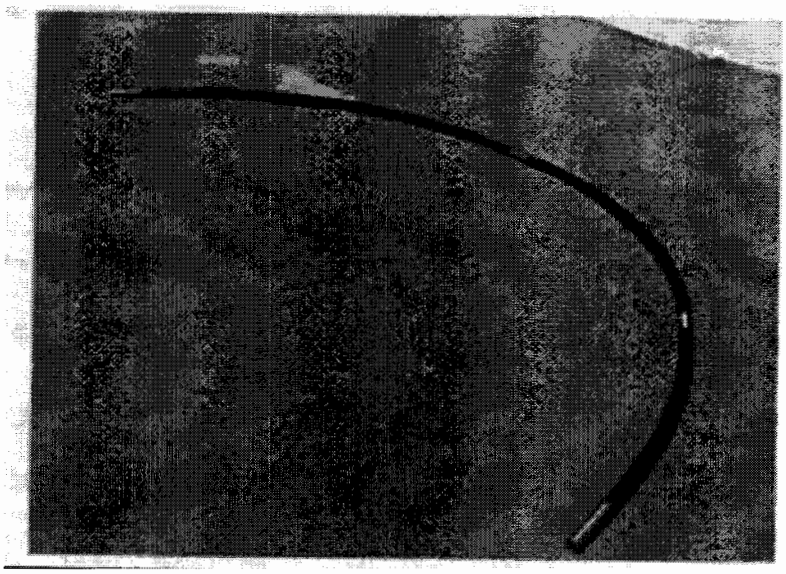
۶) ابزار قرائت کننده در مراحل اولیه نشانگر عقربه ای و در ادامه بـه الکتریکـی (LDVT) تبـدیل می‌شود.

۷) حداقل قطر چال مورد نیاز برای نصب ۶۴ میلیمتر است.

۸) تعداد نقاط اندازه گیری استفاده شده ۱ تا ۴ عدد می‌باشد. البته امکان افزایش تعـداد نقـاط تـا ۱۴ عدد هم وجود دارد.

۹) بلندترین طول استفاده شده در طرح مورد بررسی ۳۰ متر است البته از نظـر کارخانـه سـازنده این طول محدودیتی ندارد.

بدلیل قرار گرفتن کشیدگی سنج در ناحیه کشش برای اتصال کـشیدگی سـنج بـا تـوده سـنگ از دوغاب سیمان بدون انقباض استفاده می گردد [۵].



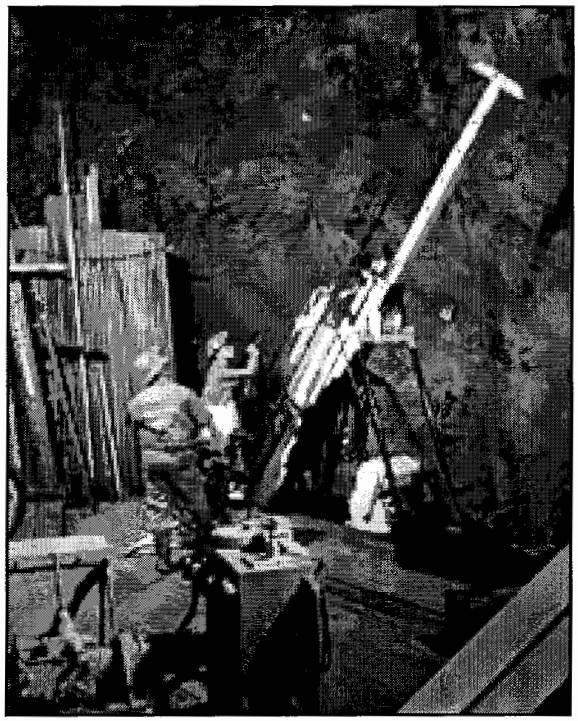
شکل ۳۱ -شمائی از کشیدگی سنج میله ای مدل ۲۰۰۰ ساخت شرکت پایاب زمزم [۱۷]

نصب ابزار در اولین فرصت و با در نظر گرفتن واقعیتهای اجرایی بگونه ای انتخاب گردید که فاصـله سینه کار از محل نصب ابزار در حدود ۴ تا ۶ متر باشد تا هم ابزار از خطر صدمه سنگهای پرتابی در اثر آتشباری در امان بماند و هم حداکثر امکان ثبت جا به جایی ها وجود داشته باشد.

در عملیات نصب ابتدا موقعیـت چـال را بـا نقـشه بـرداری دقیـق مـشخص کـرده سـپس یکـی از دستگاههای حفاری موجود (جامبو، دریل واگن سویل مک ۴۰۰ یا لانگی یر)در محـل مـستقر شـده و

حفاری شروع می شود، (شکل ۳۲).قطر حفاری چال بـرای جـامبو ۷۶ میلیمتـر، در سـویل مـک ۱۰۱ میلیمتر و برای دستگاه لانگی یر ۷۶ میلیمتر (قطر مغزه ۶۴ میلیمتر) می باشد، (شکل ۳۲).

در ابتدای عملیات حفاری بایستی نسبت به درستی راستا و شیب حفاری (بکمک کمپاس) اطمینان حاصل نمود. طول چال را برای اطمینان از تزریق درست آخرین پین و عدم تاثیر بلیدینگ دوغاب برای آخرین پین، یک متر بلندتر از طول کشیدگی سنج حفاری می کنند. شستشوی چـال بعـد از حفـاری خصوصا در چالهای کم شیب الزامیست. مغزه گیری از چال کشیدگی سنج می‌تواند در انتخـاب محـل مناسب برای پین ها و تجزیه وتحلیل نتایج ابزار مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۳۲ -نمایی از دستگاه لانگی یر در حال کرگیری از چال کشیدگی سنج

لاگ حفاری بایست شامل اطلاعاتی چون نوع سنگ، شیب و جهت شیب، زبری و مـواد پـر کننـده درزه ها و درجه هوازدگی آنها باشد.

ضروری است تا در اسرع وقت پس از حفاری چال نسبت به نصب ابزار اقدام نمود. ممکـن اسـت در اثر وجود مناطق خرد شده در مسیر چال قسمتی از آن پس حفاری و قبـل از قـرار دادن ابـزار ریـزش کرده باشد که بطبع آن امکان شستشو و قرار دادن ابزار مقدور نمی باشد. یک راهکـار بـرای حـل ایـن

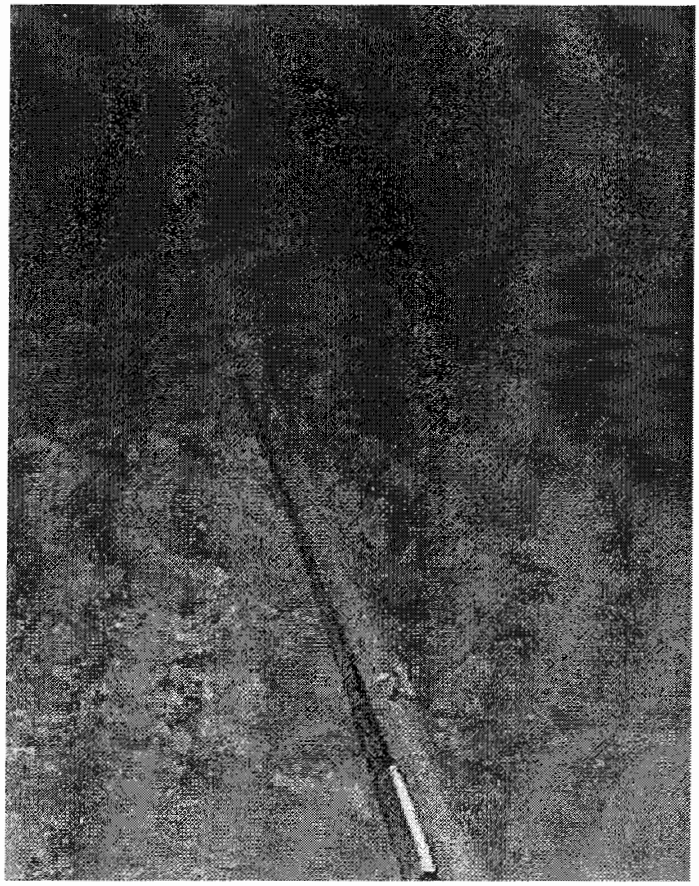
مشکل پر و خالی کردن مکرر چال با دوغاب رقیق و حرکت دادن راد حفاری در درون چال است. اگـر با تکرار این روش مشکل حل نشد بایست چال را با دوغاب غلیظ تری پر کرده و مجدداً حفاری نمـود. در صورتیکه پس از این مرحله هم چالش ریزش داشته باشد توصیه می گردد از حفاری با قطر بیشتر و از سیستم حفاری با هوای فشرده (بجای آب) بعنوان سیال استفاده گردد.

در صورتیکه با انجام آزمایش نفوذ پذیری قابلیت خورند توده سنگ بیـشتر از ۳ لـوژن باشـد انجـام پیش تزریق یاگروت فلاشینگ الزامیست. در عملیات پیش تزریق لوله تزریق (کوتاه) و لوله هوا (بلنـد) در چال کار گذاشته شده و سرچال را با ملاتی از گچ و سیمان (به انضمام الیاف نساجی یا کاغـذ) مـی بندند. عملیات تزریق دوغاب سیمان با حداقل نسبت به آب به سیمان یک شروع و تـا خـروج دوغـاب بدون هوا از لوله هوا ادامه می یابد. پس از ۲۰ ثانیه سر لوله هوا را بسته و فشار تزریق را تا ۵ بـار بـالا می بریم در این حالت بعد از ۱۰ دقیقه توقف، عملیات تزریق قطع و لوله ورودی بسته می‌شود. پس از رسیدن به گیرش اولیه دوغاب (حدود ۸ ساعت) حفاری مجدد انجام می پذیرد. پس از آن دوباره مقدار نفوذپذیری توده سنگ کنترل می گردد، در صورت احراز شرط نفوذپذیری کمتر از ۳ لوژن عملیات به پایان رسیده است، در غیر این صورت عملیات تکرار می‌شود.

در عملیات گروت فلاشینگ به آزمایش نفوذ پذیری آب نیازی نیست. در این روش ابتدا مانند پیش تزریق لوله هوا و دوغاب را درون چال قرار داده و پس از مسدود کردن سـر چـال دوغـاب سـیمان (بـا حداقل نسبت آب به سیمان برابر ۱) را با فشار ۳ تا ۴ بار بدرون چال تزریق می کنند. در همین حـال لوله خروج هوا را درون ظرف آب یا در کنار صورت یا گوش قرار داده و زمانی که طول می کشد تا بعد از شروع تزریق هوا از درون لوله خارج شود تعیین می گردد. در صورتیکه زمان تعیین شده از ۱۰ ثانیه کمتر باشد می‌توان از کم بودن نفوذ پذیری اطمینان پیدا کرد و دیگر نیازی به ادامه عملیات نیست در غیر اینصورت پس از پر کردن چال آن را خالی کرده و عملیات را بعد از چند دقیقه تکـرار مـی کنـیم. این کار تا زمانیکه شرط مورد نظر در خصوص زمان خروج هوا محقق گردد ادامه می یابد. البته معیـار ذکر شده برای مدت زمان خروج هوا به عوامل متعددی از جمله نوع ماشین آلات تزریق بستگی دارد و بایستی در هر مرحله بصورت تجربی کنترل و در صورت نیاز تغییر یابد. لازم بذکر است که نوع سیمان دوغاب در کل عملیات آماده سازی و نصب بایستی از نوع سیمان ضد سولفات تیپ ۵ باشد.

بطور تجربی در سقف مغار ترانسفورمر و قسمت بالا دست سقف مغار نیروگاه نیازی به انجام عملیات پیش تزریق یاگروت فلاشینگ احساس نشده ولی در غالب چالهای قسمت پایین دست سقف مغار نیروگاه عملیات گروت فلاشینگ بضرورت انجام شد.

پس از آماده شدن چال و مونتاژ کشیدگی سنج آن را با استفاده از تیرک های چوبی و نیروی کارگری به محل نصب انتقال می دهند، (شکل ۳۳). گاهی کشیدگی سنج بصورت حلقه هایی در آورده شده و بکمک ماشین به محل مورد نظر انتقال داده می‌شود.



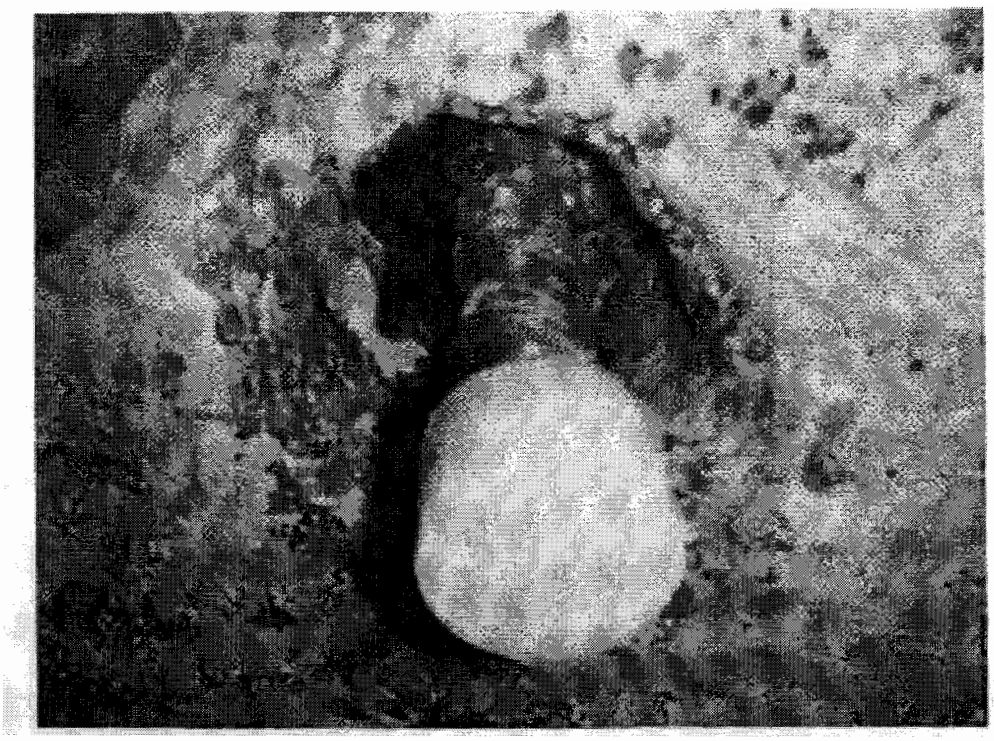
شکل ۳۳ -شمائی از حمل و نقل کشیدگی سنج

پس از بستن لوله هوا و دوغاب (این لوله ها ۱۶ تا ۲۰ میلیمتر قطر داشته و تا ۷ بار فشار را تحمل می کند) آن را درون چال قرار می دهند. هنگام قرار دادن کشیدگی سنج بایست دقت کرد تا قسمت سر کشیدگی سنج درون سنگ قرار گیرد و بیرون از قسمت بتن پاشیده قرار نگرفته باشد، (شکل ۳۴). لوله تزریق را در فاصله نیم متری سر چال و لوله هوا را تا انتهای چال کشیدگی سنج برده و سر آن را

برای اطمینان از عدم بسته شدن در ته چال بصورت اریب می بریم. سر چال را با استفاده از گچ ایزوله می کنند. نسبت آب به سیمان در دوغاب مصرفی ۰/۴ تا ۰/۴۵ و از مواد منبسط کننده مناسب (اینترپلاس Z) با مقدار کم (۱ درصد وزن سیمان) نیز استفاده می‌شود.

برای جلوگیری از مشکل گیر کردن دوغاب در لوله ها از تزریق چند مرحله ای استفاده می‌شود. در تزریق مرحله ای در سه مرحله با لوله های مجزا طولهای ۰ تا ۶، ۶ تا ۹ و ۹ تا ۱۵ متری (و در لزوم ۱۵ تا ۲۵ یا ۳۰) تزریق می شوند. در پایان مرحله آخر برای اطمینان از پر شدن چال و درزه و شکافها حدود ۳ ثانیه چال را تحت فشار قرار می دهند. در چالهای طولانی و پر شیب ممکن است ملات گچ نتواند سر چال را بخوبی مسدود نماید در چنین شرایطی توصیه می گردد از روش ایجاد پلاگ دوغابی در ابتدای چال استفاده شود. در این روش یک یا دو متر اول چال با شیوه قبلی تزریق می‌شود و پس از گذشت چند ساعت (حدود ۱۲ ساعت) و گیرش دوغاب نسبت به تزریق باقیمانده چال اقدام میشود.

بعد از گذشت ۱۲ ساعت از زمان تزریق، گچ سر چال برداشته شده و با سیمان جایگزین می گردد و پس از ۲۴ ساعت از تزریق می‌توان قرائت اولیه (قرائت صفر) را انجام داد. لازم بذکر است که در این فاصله زمانی بایست از هر گونه انفجار یا فعالیت ساختمانی دیگر در مجاورت ابزار که تاثیر منفی برگیرش دوغاب می گذارد اجتناب کرد.



شکل ۳۴ -شمائی از قسمت سرکشیدگی سنج نصب شده در چال

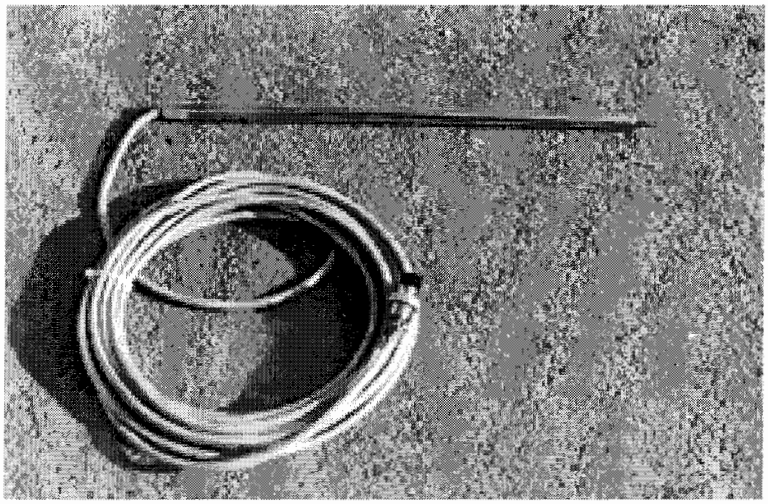
یکی از معایب عملیات تزریق (برای گروت فلاشینگ، پیش تزریق یا نصب با اتصال تزریقی) آن است که با تزریق دوغاب به داخل درزه و شکافها تا حدودی خواص توده سنگ با آنچه درواقعیت وجود دارد متفاوت خواهد شد.

از آنجایی که وضعیت جبهه کاری از لحاظ شکل، نوع و وضعیت نگهداری و فاصله از محل ابزار دقیق در زمان نصب می‌تواند در تفسیر نتایج بسیار مهم باشد لذا بایستی کلیه اطلاعات مذکور بدقت ثبت گردد. تهیه مقطع زمین شناسی و ثبت اطلاعات ژئوتکنیکی محل نیز از امور لازم برای هر ابزار دقیق می‌باشد.

قرائت ها در مراحل اولیه توسط نشانگر عقربه ای با حساسیت ۰/۰۱ میلیمتر و تکرار پذیری ۰/۰۵ میلیمتر صورت می پذیرد. قبل و بعد از قرائت بایست نشانگر عقربه ای کالیبره گردد تا در محاسبات اعمال شود. لازم به ذکر است که تعویض قطعه کالیبراسیون در عملیات بی تاثیر است ولی اختلاف دو قطعه کالیبراسیون باید معین باشد. افزایش یا کاهش طول زبانه نشانگر عقربه ای نیز تاثیری در نتیجه نهایی ندارد مشروط به اینکه طول قطعه اضافه یا کم شده معین و یا قطعه کالیبراسیون تغییر نکند.

هنگام قرائت شماره رادها به ترتیب بر روی هد نوشته شده است (۱ تا ۳ یا ۴) که به ترتیب از نزدیکترین پین به سمت دورترین پین می‌باشد.

عملیات قرائت پس از دور شدن از محل ابزار با استفاده از انتقال دهنده های الکتریکی (LVDT[1]) صورت می پذیرد، (شکل ۳۵). در مرحله بهره برداری از پروژه از سیستم قرائت مرکزی استفاده می گردد.



شکل ۳۵ -شمائی از LVDT برای قرائت الکتریکی ساخت شرکت پایاب زمزم [۱۷]

1)Linear Variable Differential Transformer

فصل پنجم :

درزه سنج

۵-۱-مقدمه

درزه سنج[1] برای اندازه گیری تغییر فاصله دو نقطه در دو سوی ناپیوستگی استفاده می‌شود. از جمله مهمترین ناپیوستگی ها: درزه های کششی بالای سطوح شیبدار، درزه های ایجاد شده بر روی سطح سازه ها، درزه های پوشش های بتنی سازه های زیرزمینی و درزه ها یا گسل های ایجاد شده در سنگ می باشند.

رفتار نگاری ناپیوستگی های سطحی معمولاً بسیار ارزان تر از رفتار نگاری با ابزارهای درون گمانه ای یا زیر سطحی است. مشاهده دقیق شکسته شدن در روی سطح سنگ می‌تواند اطلاعات مفیدی را در ارتباط با رفتار عمقی ارائه کند. در یک تقسیم بندی کلی درزه سنج ها به دو دسته زیر تقسیم می شوند:

۱) درزه سنج های مکانیکی

۲) درزه سنج های الکتریکی

۵-۲-درزه سنج های مکانیکی

الف) گوه چوبی

این شیوه از روشهای مرسوم در بین معدنکاران است. آنها با گذاشتن گوه چوبی در شکستگی های باز شده و مشاهده زمان رها شدن آن، به روند تغییر شکل آگاه می گردند. این شیوه بسیار ساده و کیفی است. [۵]

ب) صفحه شیشه ای

در این شیوه با چسباندن صفحه های شیشه ای با ابعاد تقریبی ۷۶ در ۲۵ در۲/۵ میلیمتر بر روی ناپیوستگی، زمان و وضعیت شکسته شدن شیشه مورد توجه قرار می گیرد. چسباندن شیشه بایست بر روی سطحی صاف و تمیز با استفاده از چسب های رزینی صورت پذیرد. از مزایای این شیوه ارزانی و محدودیت آن کیفی بودن نسبی آن است. دقت تقریبی این شیوه ۱mm ± می‌باشد. [۵]

---

1) Jointmeter [1]

ج) ملات گچ

از ملات گچ بخاطر خاصیت شکنندگی آن برای کنترل فعال بودن ناپیوستگی ها استفاده می گردد. در این روش ملات گچ با ماله صافی بر روی ناپیوستگی ها مالیده می‌شود و با تحت نظر قرار دادن آن، زمان و جهت شکستگی در گچ برداشت می گردد. محدودیت و مزایای این شیوه مانند روش صفحه شیشه است، (شکل ۳۶). [۵]

شکل ۳۶- شمائی از گچ زده شده به روی درزه ها

د) متر نواری و میخ

در این روش یک نقطه اندازه گیری شبیه میخ در هر یک از دو سوی ناپیوستگی نصب می گردد و فاصله بین آنها با یک متر فولادی اندازه گیری می‌شود. نوع، ابعاد و شیوه نصب میخ بستگی به شرایط زمین یا سازه مورد نظر دارد. بایستی از اتصال صلب میخ ها به سطح و باقیماندن اتصال آنها در حین رفتار نگاری اطمینان حاصل کرد. در سطوح سنگی یا بتنی محکم، بشرط اینکه ترک های موضعی بروز ننماید، از میخ هایی با طول ۲۵۶ و قطر ۶ میلیمتر استفاده می گردد. در سر یکی از میخ ها بایست یک نقطه قرمز شاخص برای متر و در طرف دیگر نوار به میخ جوش شده باشد. می‌توان از رزین اپوکسی برای ثابت کردن پایه ها بر روی سطح و یا از تفنگ های پرچی بتن استفاده نمود. برای خاک

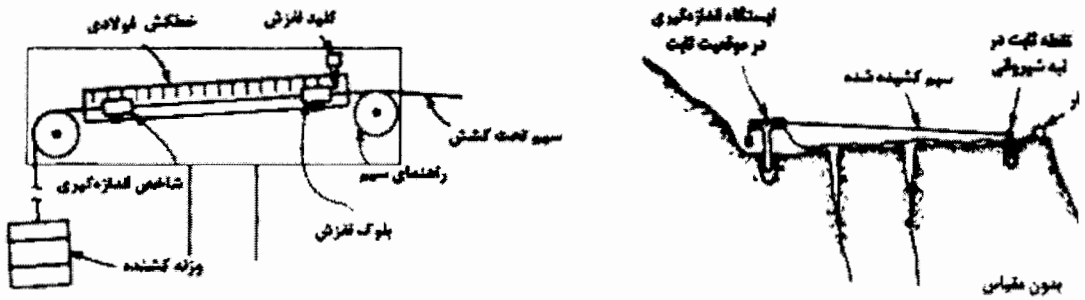
یا سنگهای نرم معمولا از میخ های با طول ۵۰۰ و قطر ۱۳ میلیمتر برای فرو رفتن درون ساختار استفاده می گردد. می‌توان از گزینه نصب میخ ها با استفاده از دوغاب در درون چال نیز استفاده کرد.[۵]

ذ) میخ و خط کش فولادی

در این شیوه میخ هایی که در روش قبل گفته شد نصب و فاصله بین آنها با یک خط کش فولادی اندازه گیری می‌شود. در این شیوه اندازه گیری با دقت بیشتری انجام می‌گردد اما محدودیت طول دهنه در این شیوه نسبت به روش قبل وجود دارد. [۵]

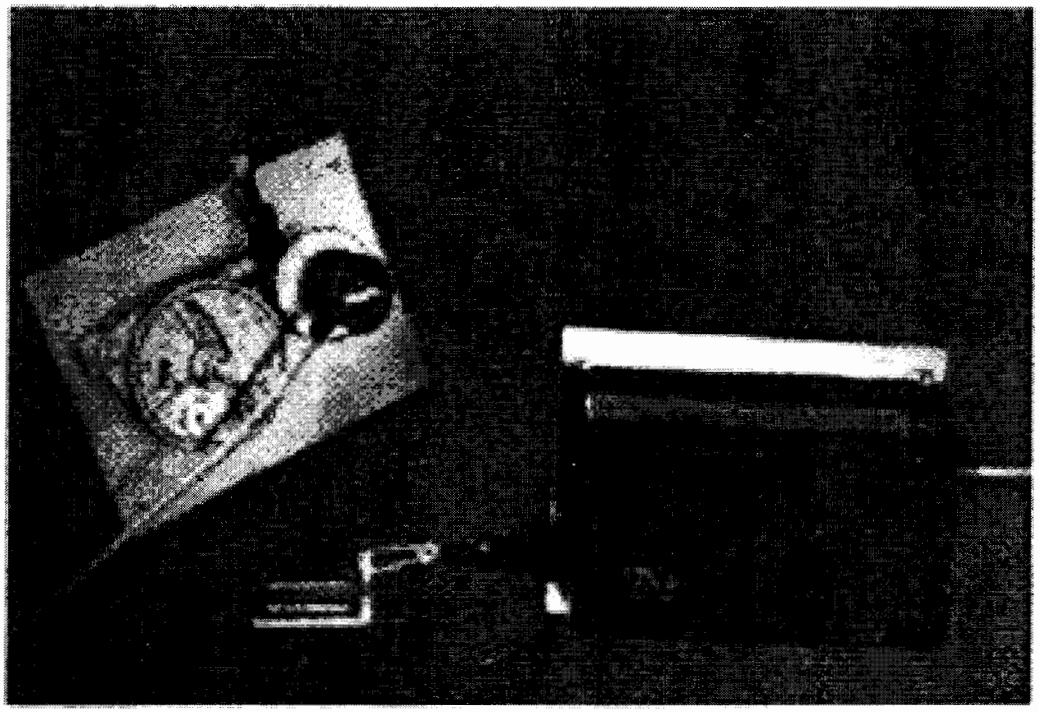
ر) میخ ها و سیم های کشیده شده با وزنه

در این شیوه که شمایی از آن در (شکل ۳۷) نشان داده شده است از میخ و سیم کشیده شده با وزنه برای رفتار نگاری درزه های بالایی سطوح شیبدار استفاده می‌شود. در این روش یک سیم از روی ناپیوستگی عبور داده شده و در طرف دیگر ناپیوستگی با عبور از روی یک قرقره نصب شده در ایستگاه اندازه گیری، به آن وزنه ای آویزان می‌شود تا همواره تحت کشش قرار داشته باشد. یک صفحه مدرج در پشت سیم به ایستگاه اندازه گیری متصل می گردد و بلوک شاخص اندازه به سیم وصل می‌شود. با مشاهده موقعیت این بلوک اندازه گیری بر روی صفحه مدرج شده می‌توان مقدار حرکت بوجود آمده را تعیین کرد. [۵]



شکل۳۷- شمائی از درزه سنج مکانیکی متشکل از میخ و سیم های تحت کشش [۵]

با افزودن یک کلید زنگ اخبار به مجموعه می‌توان از آن برای خبررسانی در زمان بروز لغزش استفاده کرد، (شکل ۳۸).

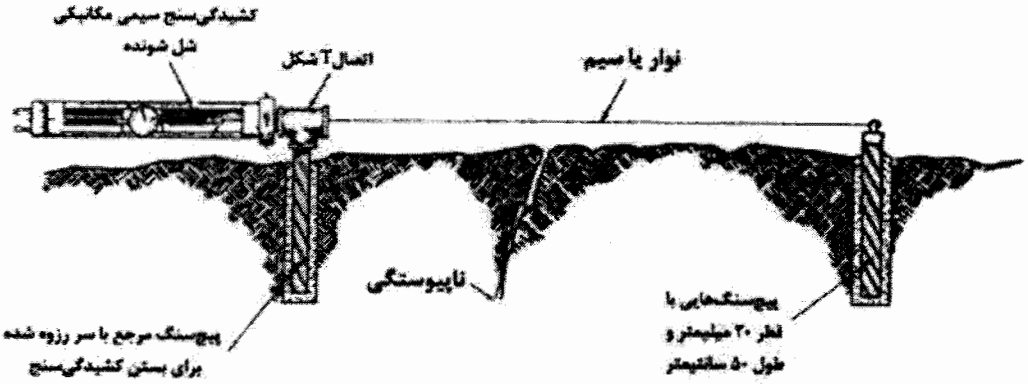


شکل ۳۸-شمائی از درزه سنج سیمی با دهنه ۳۰ متر و دامنه ۲ متر ساخت شرکت Sisgeo [۱۲]

هرگاه نیاز به رفتار نگاری طولانی مدت باشد استفاده از درزه سنج سیمی به همـراه انتقـال دهنـده های از نوع پتانسیومتر بسیار دقیق استفاده می‌شود البته می‌توان با یک سیستم دریافت خود کار داده ها کارایی مجموعه را افزایش داد.

ز) میخ و کشیدگی سنج مکانیکی

این ابزار برای شرایطی توصیه می‌شود که به دقت نسبتا بالاً و دهنه نسبتا بزرگ نیاز باشد. این ابزار بعنوان جایگزینی برای روش خط کش فولادی می‌باشد. متر نواری نشان داده شده در(شکل ۳۹) یک متر فولادی با طول ۳۰ متر و نقاط پانچ شده با فاصله ۳۸ میلیمتر است که می‌تواند برای اندازه گیری هر دهنه ای مورد استفاده قرار گیرد. [۵]



شکل۳۹- شمائی از میخ و کشیدگی سنج مکانیکی [۳].

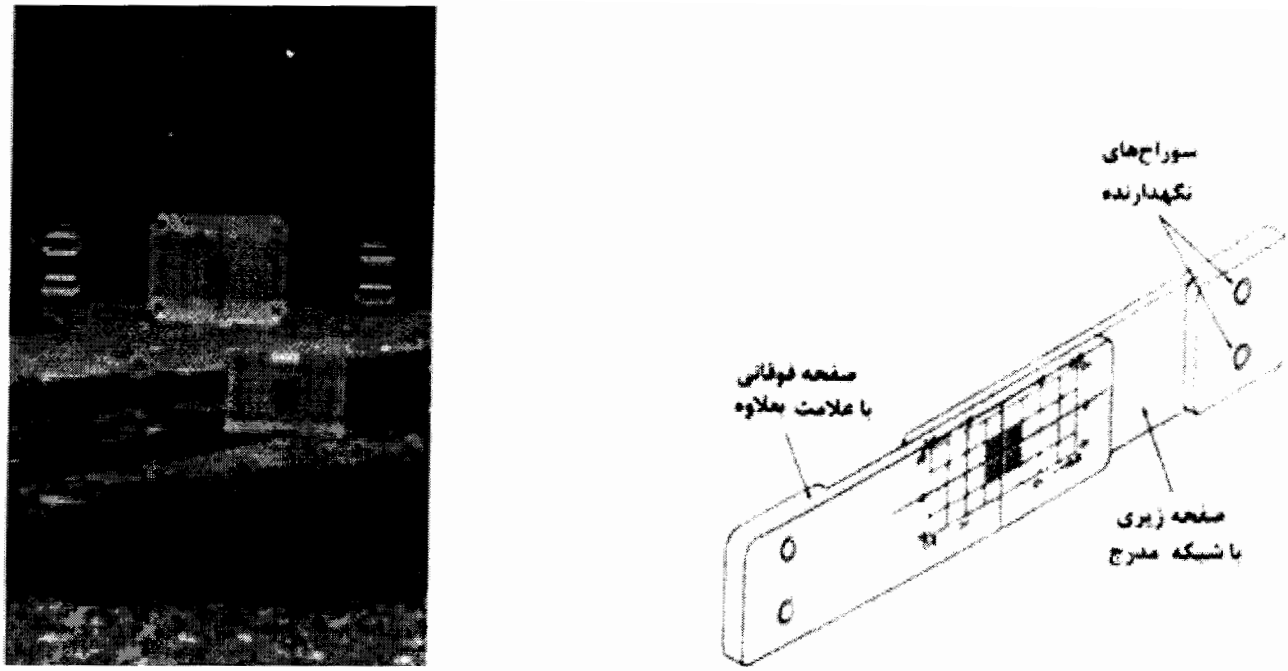
س) متر همگرایی

مترهای همگرایی مکانیکی، سیمی، میله و لوله ای (که در قسمت ۲-۲ تشریح شد) می توانند بعنوان یک درزه سنج عمل نماید. آنها می توانند با اتصال به میخ هایی که هر یک در یک سوی ذره قرار دارند مورد استفاده قرار داده شوند.[۵]

ش) نشانگر شیشه ای

این درزه سنج با نامهای نشانگر مدرج شده درزه و مدرج سخنگو[1] نیز نامیده میشود. این درزه سنج از دو صفحه پلاستیکی یا شیشه ای شفاف که با هم همپوشانی دارند تشکیل شده که هر یک، در یک سوی ناپیوستگی نصب میگردند. بر روی صفحه فوقانی علامتی بشکل بعلاوه و بر روی صفحه زیری یک شبکه میلیمتری وجود دارد. مقدار جابجایی با مشاهده موقعیت نشانگر بر روی صفحه زیرین تعیین می گردد، (شکل ۴۰).[۵]

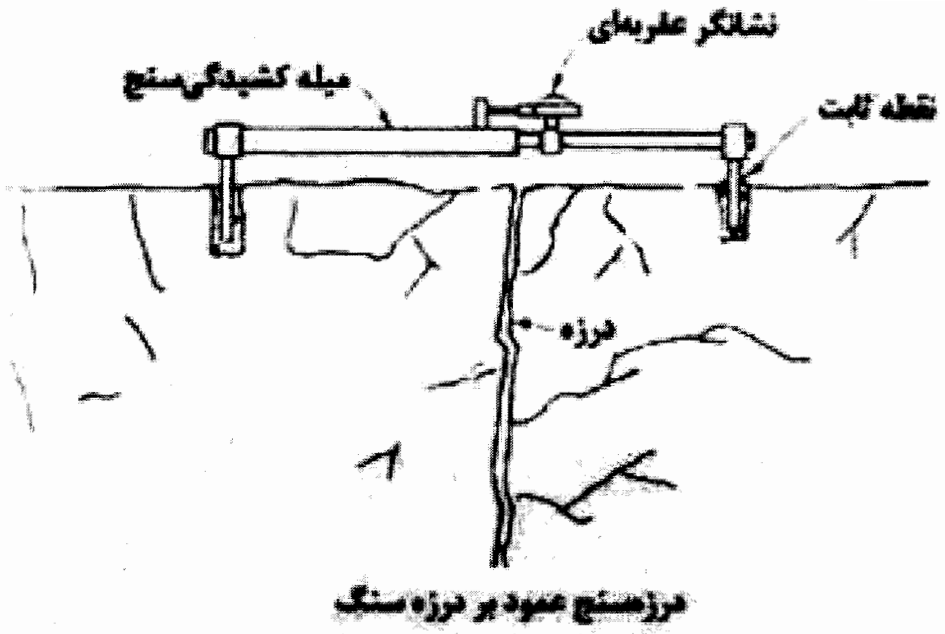
1) Tell tall



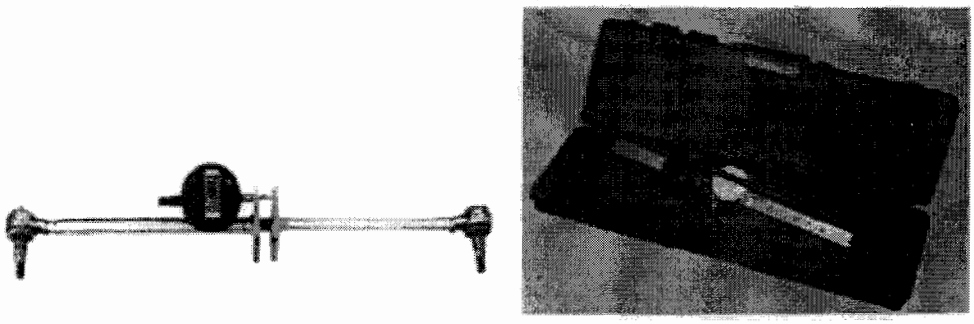
شکل ۴۰- شمائی از درزه سنج نشانگر شیشه ای [۵](سمت راست)، شمائی از درزه سنج نشانگر شیشه ای ساخت RST با بازه ۲۰ میلیمتر و تفکیک پذیری ۱ میلیمتر (سمت چپ) [۱۶]

م) نشانگر عقربه ای یا دیجیتالی

یک نشانگر عقربه ای یا دیجیتالی از یک اهرم موقت یا دائمی تشکیل شده که هر یک از سرهای آن به یک پایه که در دو سوی ناپیوستگی قرار دارد وصل می‌شود. با فعال شدن درزه مقدار حرکات نسبی درزه بر روی صفحه مدرج و یا دیجیتالی قرائت می‌شود،(شکل های ۴۱ و ۴۲).[۵]

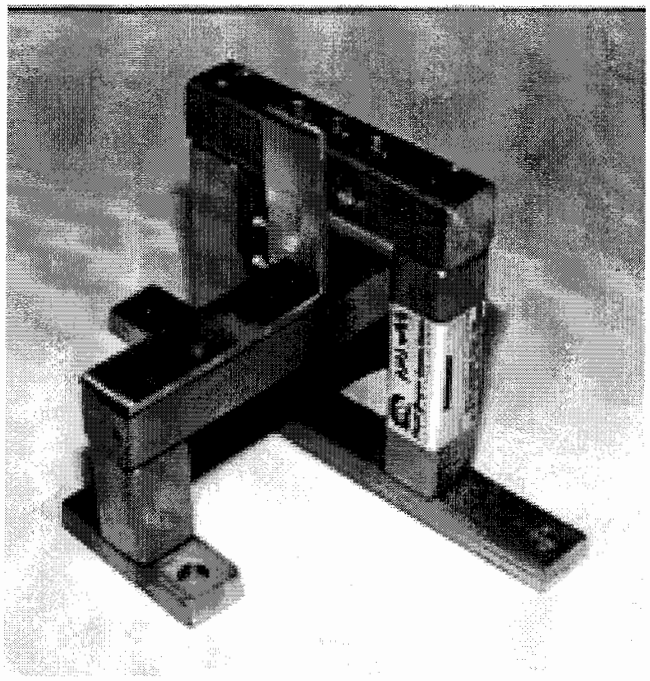


شکل ۴۱- طرح شماتیک درزه سنج عقربه ای [۵]



شکل ۴۲- شمائی از درزه سنج مکانیکی با نشانگر عقربه ای ساخت شرکتSisgeo (راست)،درزه سنج مکانیکی با نشانگی دیجیتالی ساخت شرکت پایاب زمزم (چپ) [۱۲] ، [۱۷]

درزه سنج موجود در شکل پایین سه محوره می‌باشد که می‌تواند در سه جهت عمود بر هم جابجایی را اندازه گیری نماید، (شکل ۴۳). بعلاوه می‌توان از میکرومتر قابل حمل نیز بجای انواع ثابت استفاده کرد.[۵]

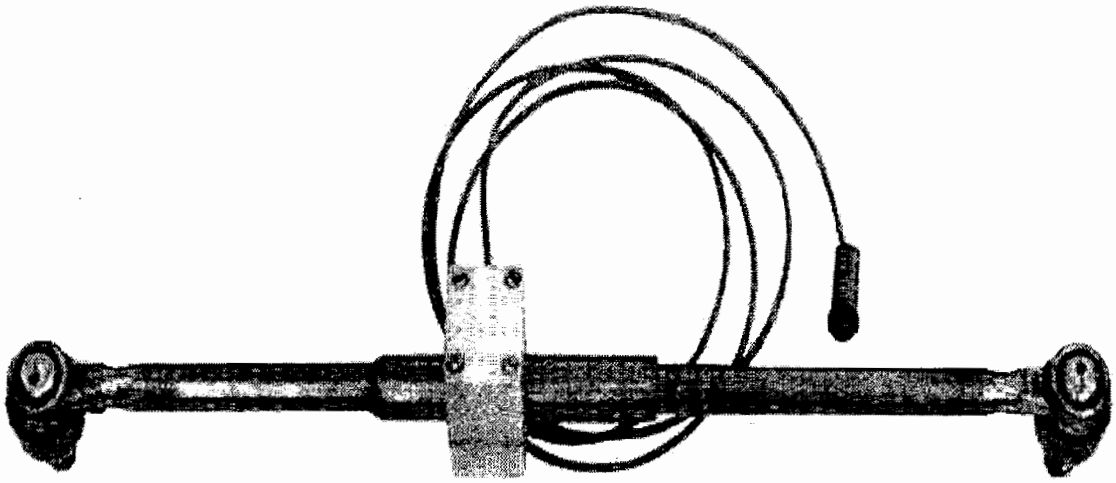


شکل ۴۳- درزه سنج سه بعدی با قرائت کننده نشانگر عقربه ای

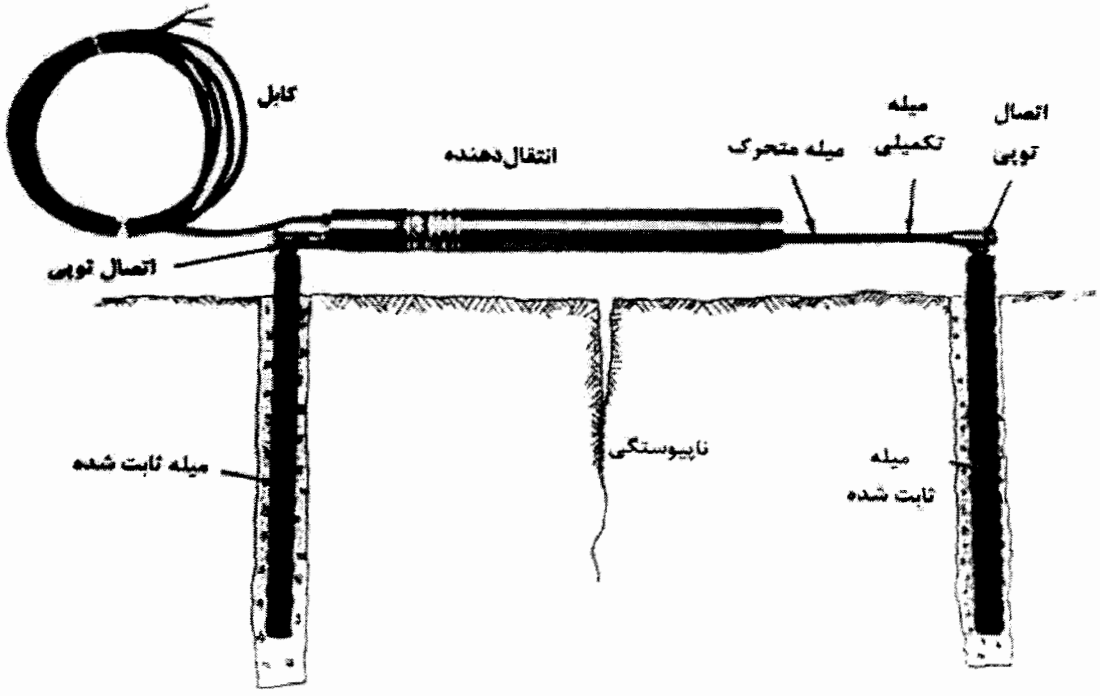
۵-۳- درزه سنج های الکتریکی

هرگاه دسترسی به موقعیت درزه سنج برای قرائت بسهولت ممکن نبوده و یا زمانی که رفتار نگاری پیوسته ای مورد نیاز باشد از انتقال دهنده های الکتریکی قرائت از راه دور استفاده می‌شود. سه گزینه برای انتقال دهنده الکتریکی قابل استفاده است، نخست از یک انتقال دهنده جابجایی خطی استفاده کرد بدین صورت که آن را در یک سوی ناپیوستگی به یک پایه ثابت متصل کرد و سر دیگر آن را به یک صفحه ماشین کاری شده مبنا در طرف دوم ناپیوستگی وصل کرد. گزینه دوم اینکه در هر یک از دو سوم ناپیوستگی میخ هایی ثابت نصب نمود سپس انتقال دهنده الکتریکی را با استفاده از اتصالات توپی[1] مطابق (شکل های ۴۴ و ۴۵) بین میخ ها متصل کرد.

1) Ball Joint

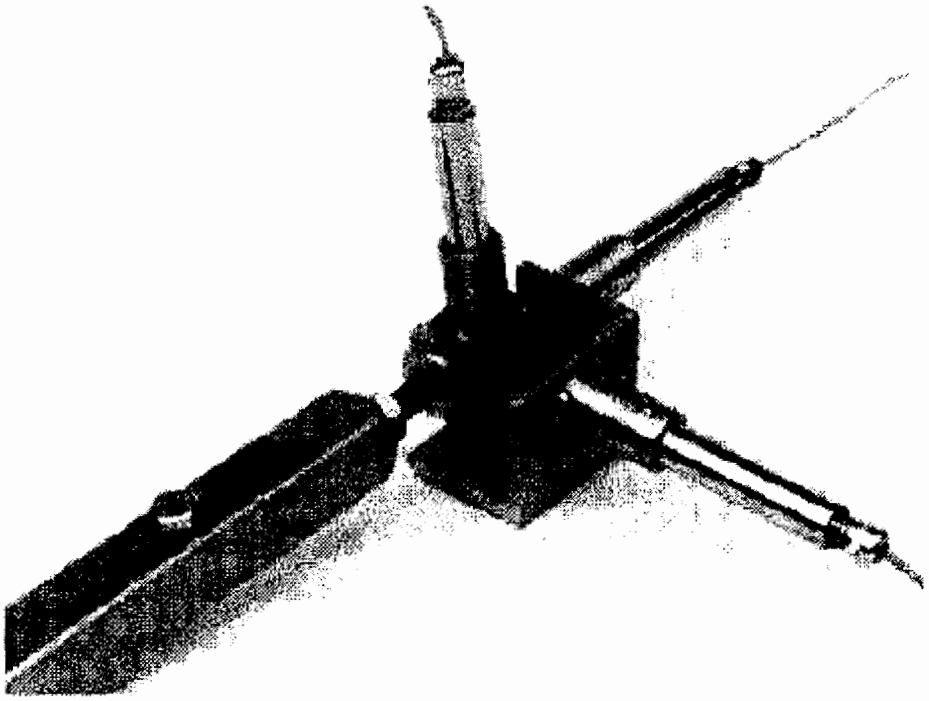


شکل ۴۴- درزه سنج الکتریکی با اتصالات توپی ساخت شرکت پایاب زمزم [۱۷]



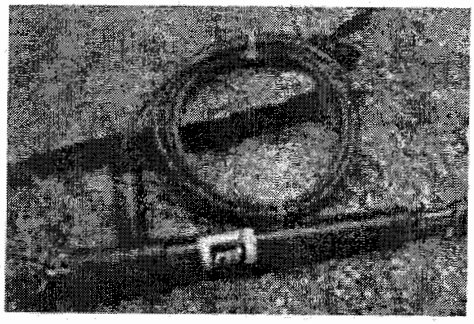
شکل ۴۵ -شمائی از درزه سنج الکتریکی یک بعدی [۵]

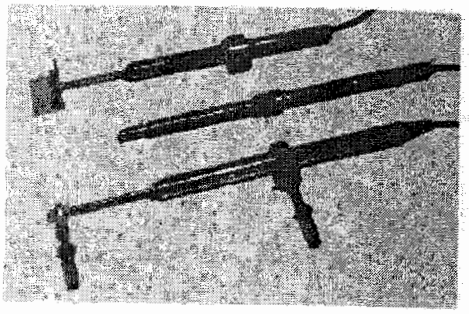
درگزینه سوم می‌توان انتقال دهنده الکتریکی جابجایی را با سیستم درزه سنج مکانیکال تلفیق نمود. انتقال دهنده های موجود دارای پتانسیومترهای خطی LVDT ها، DVDT ها،VRT ها، سیم لرزان، گیج های مقاومتی سیمی چسبان و غیر چسبان و انتقال دهنده هایی با هسته های القائی بسامد – جابجایی می باشند. امکان استفاده از انتقال دهنده های الکتریکی برای اندازه گیری جابجائی در ۳ جهت عمود بر هم نیز وجود دارد، (شکل ۴۶).[۵]



شکل ۴۶- درزه سنج سه بعدی با انتقال دهنده الکتریکی ساخت Interfels [۱۳]

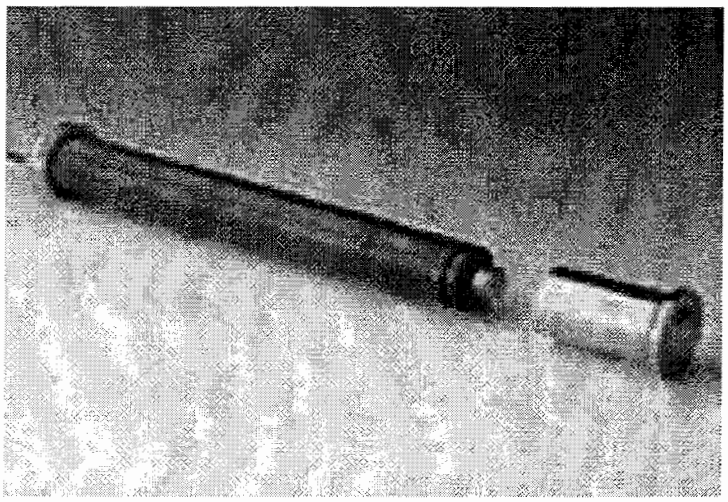
درزه سنج الکتریکی بسیار گرانتر از انواع مکانیکی هستند و بازه عملکرد محدودی دارند. البته می‌توان با تجدید نصب، بازه را افزایش داد. بسته به نوع انتقال دهنده دقت اندازه گیری در این روش بین۰/۱۳ –۰/۰۰۳± میلیمتر می‌باشد. بعلاوه قرائت می‌تواند با تغییر خواص سیم متصل به دستگاه و عوامل محیطی و درجه حرارت تحت تاثیر قرار گیرد،(شکل ۴۷).[۵]





شکل ۴۷- درزه سنج الکتریکی یک بعدی ساخت شرکت Sisgeo (سمت راست)، درزه سنج الکتریکی ساخت شرکت RST (سمت چپ) [۱۲] ، [۱۶]

گونه ای از درزه سنج الکتریکی با نام درزه سنج مدفون[۱] برای استفاده در محل درزه های ساختمانی مانند بین بلوک های مجاور هم در سدهای بتنی، برای اندازه گیری انبساط و انقباض درزه استفاده می گردد، (شکل ۴۸).



شکل ۴۸- شمائی از درزه الکتریکی مدفون در بتن مدل ۴۴۰۰۰ ساخت شرکت Geokon [۱۴]

۱) Embededment Jointmeter

فصل ششم :

نشست سنج

٦-١-مقدمه

نشست سنج[1] ابزاری است که برای اندازه گیری میزان نشست یا بالا زدگی سطح زمین یا مصالح زیر آن بکار گرفته می شود. از مهمترین موارد کاربرد این ابزار رفتار نگاری نشست و بالا زدگی در حفاری ها، فونداسیون، سدها و پشته های خاکی است. بعلاوه این ابزار در مواردی چون ستون و دیوارهای محافظ، دیوارهای دیافراگمی، بالای فضاهای زیرزمینی مانند تونل های مترو و چاه ها مورد استفاده قرار می گیرند.

نشست سنج ها به دو دسته زیر تقسیم می گردد:

۱) نشست سنج های سطحی

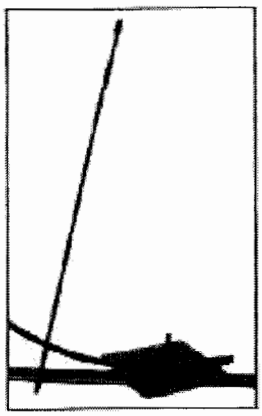
۲) نشست سنج های زیر سطحی

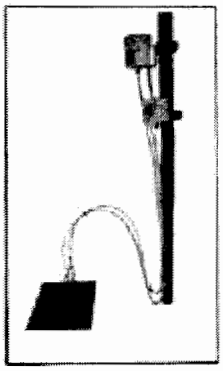
۶-۲- نشست سنج های سطحی

از نشست سطح های سطحی برای اندازه گیری طولانی مدت نشست تاج سدها یا سطح پایین دست سدهای خاکی استفاده می‌شود. اندازه گیری ها غالباً با ابزارهای نوری یا ترازیابی مثلثاتی و اگر بسامد قرائت ها در آینده رو به افزایش یابد از سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای استفاده می‌شود، (شکل ۴۹).

---

۱)Settlement



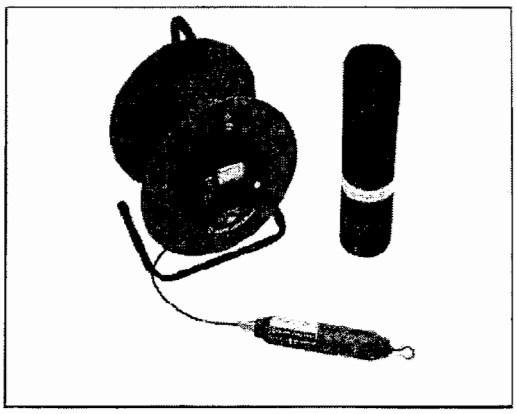


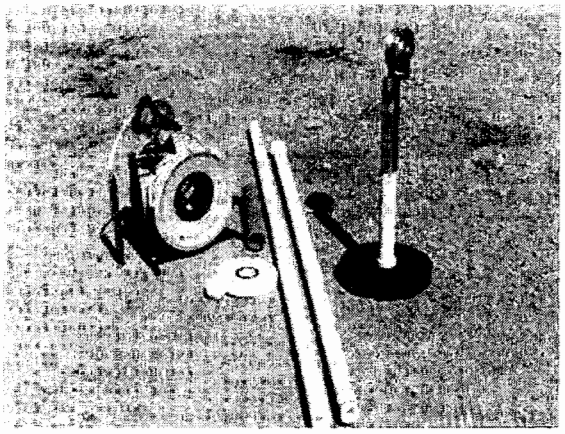
شکل ۴۹- شمائی از نشست سنج صفحه ای (سمت راست)، نشست سنج مکانیکی (چپ) ساخت Interfels [۱۳]

۶-۳- نشست سنج های زیر سطحی

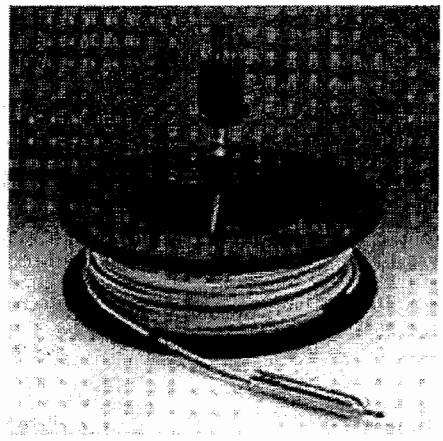
برای اندازه گیری نشست ها و بالا زدگی زیر سطحی می‌توان از نشست سنج کاوه لغزنده استفاده کرد. بکمک این ابزار می‌توان علاوه بر تعیین نشست کل، روند تغییرات نشست در همه نقاط را تعیین کرد. اگر آخرین نقطه ثابت باشد می‌توان بدون نیاز به نقشه برداری نشست مطلق را اندازه گیری نمود. می‌توان این ابزار را با یک انحراف سنج تلفیق کرد.

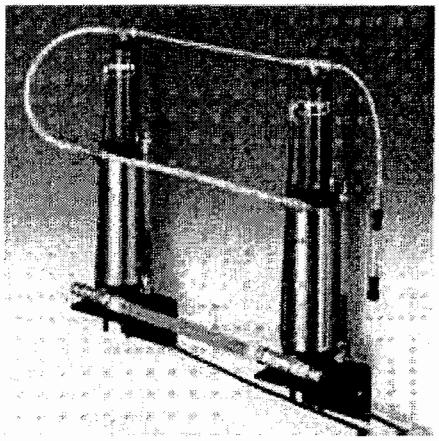
سیستم کاوه شامل: کاوشگر، کابل سیگنال(کابلی که بر روی آن شماره حلقه مغناطیسی مشخص شده و منبع برقراری اختلاف پتانسیل است)، یک متر نواری برای سنجش عمق به کاوه وصل می‌شود. پس از ارسال کاوه به درون لوله راهنما و نزدیکی به محل حلقه هایی که از پیش قرار داده شده اند، صدایی از ابزار بگوش می‌رسد و مقدار قرائتی ولتاژ به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در این حال کاربرد با توجه به متر نواری متصل به کاوه عمل حلقه را ثبت می کند. میزان نشست یا بالا زدگی با مقایسه قرائت اولیه با قرائت های ثانویه امکان پذیر می گردد (اشکال ۵۰ و ۵۱) بعلاوه می‌توان از لوله های راهنمای آن برای کشیدگی سنج های لغزنده قائم، انحراف سنج های افقی و گیج های نشان دهنده تر از سطح مایع نیز استفاده کرد.





شکل ۵۰- نشست سنج کاوه دار ساخت شرکت Interfels (راست)، شرکت پایاب زمزم (چپ) [۱۳] ، [۱۷]





شکل ۵۱ -شمائی از نشست سنج مدل ۴۶۵ (راست)، نشست سنج دقت بالایی مدل ۴۶۷۵ (چپ) ساخت Geokon [۱۴]

فصل هفتم :

حسگرهای انتقال دهنده تغییر شکل

۷-۱-مقدمه:

حسگرهای انتقال دهنده تغییر شکل یکی از ابزارهای دقیق سنجش جابجایی توده سنگ می باشد،این ابزار برای رفتار نگاری جابجایی افقی درسدهای بتنی، تعیین ناحیه حرکت در زمین لغزش، رفتار نگاری گسترش و سرعت حرکات افقی در سدهای خاکی و شیروانی های سنگی و تونل ها ، اندازه گیری تغییر شکل عمود بر چال، بکار برده می شود. حسگرهای انتقال دهنده تغییر شکل به چهار دسته تقسیم بندی می شود که عبارتند از:

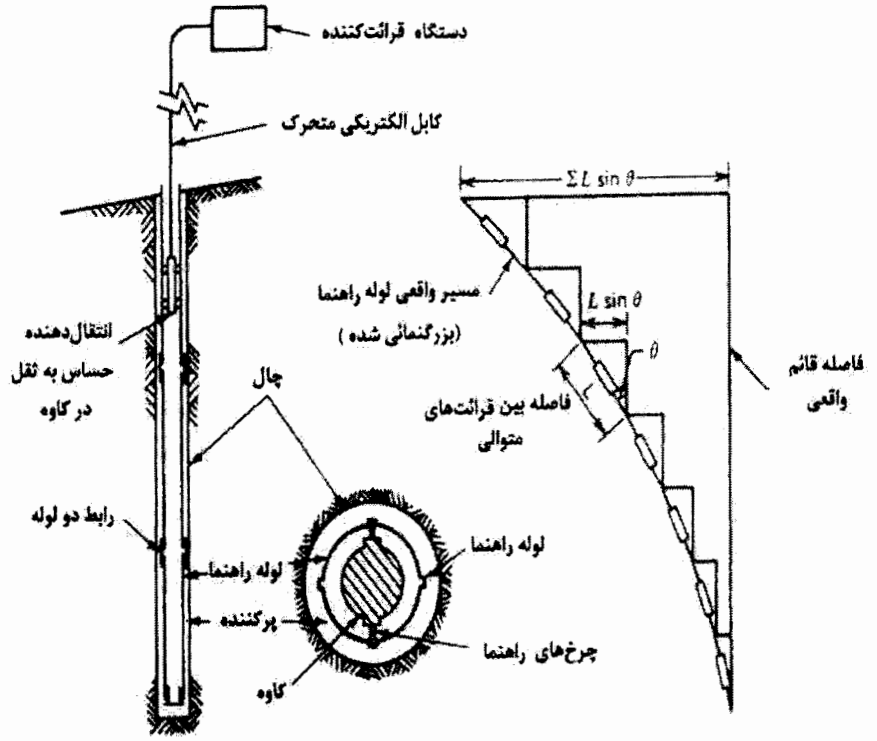
۷-۲- انحراف سنج[۱]

انحراف سنج را در گروه ابزارهای درون گمانه ای انتقال دهنده تغییر شکل قرار داده می شود. این ابزار انحراف را در جهت عمود بر راستای چال اندازه گیری کرده و سپس بکمک توابع مثلثاتی به جابجایی تبدیل می شود.

این ابزار از یک جعبه کنترل کننده و یک کاوه متصل به کابل که در درون لوله راهنمای قابل انعطاف به پایین گمانه فرستاده می‌شود تشکیل شده است. کاوه شامل یک انتقال دهنده حساس به نیروی ثقل است که میزان انحراف نسبت به حالت قائم را اندازه گیری می کند، (شکل ۵۲).

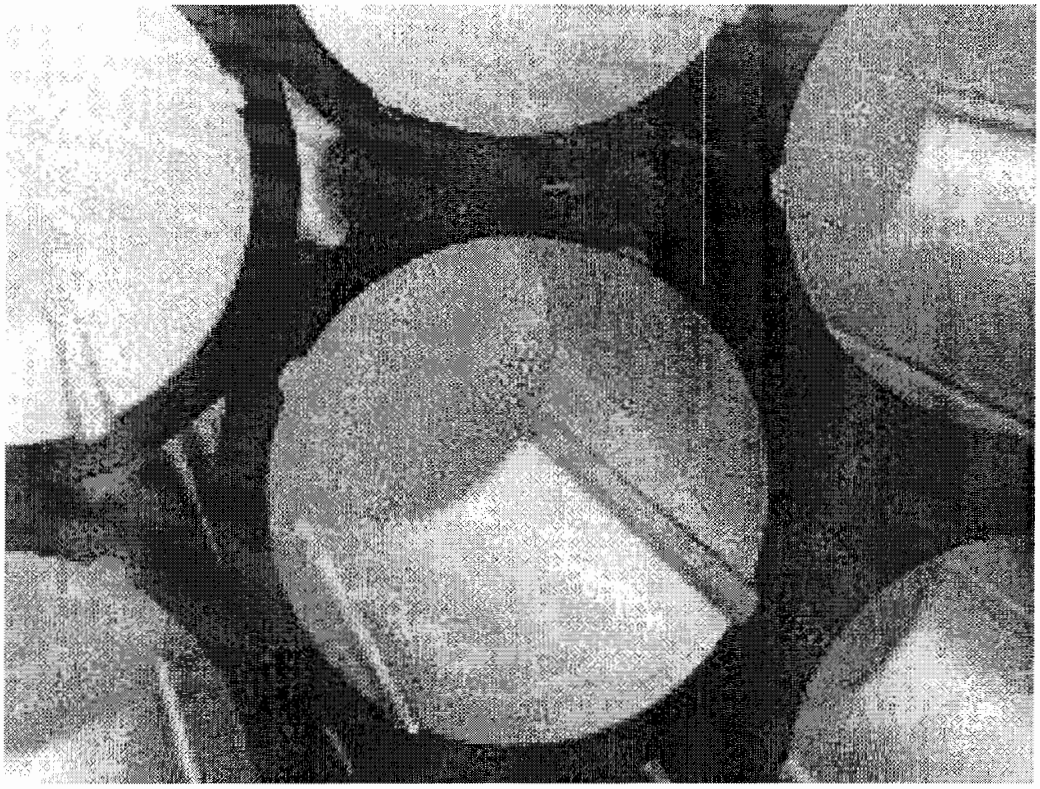
---

۱) Inclionometer



شکل ۵۲- شمائی از یک انحراف سنج [۵]

کاوه لغزنده نیاز به چهار شیار داخلی با فواصل ۹۰ درجه در لوله راهنمای قابل انعطاف دارد، (شکل ۵۳) قطر مرسوم لوله راهنما ۷۰ میلیمتر است ولی امکان ساخت لوله هایی با قطـر ۶۰ و ۸۵ میلیمتـر هم در صورت نیاز وجود دارد.



شکل ۵۳- لوله راهنما ساخت شرکت Interfels [۱۳]

لوله راهنما ممکن است درون گمانه حفاری شده و یا در پشته های خاکی نصب شود. بعلاوه در بیشتر موارد راستای لوله در جهت قائم است که در این شرایط انحراف سنج داده ها را فراهم می آورد که معرف تغییر شکل افقی است. از مهمترین موارد استفاده انحراف سنج می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱) تعیین ناحیه حرکت در زمین لغزش

۲) رفتار نگاری گسترش و سرعت حرکات افقی در سدهای خاکریزه ای، توده ای از مصالح سست و کنار تونل ها یا شیروانی های سنگی

۳) رفتار نگاری خمش دیوارها و ستون ها و یا دیواره های نگهدارنده

برخی کاوه ها را می‌توان در لوله افقی برای رفتار نگاری نشست در توده های خاکریزه ای، مخازن نفتی و سایر سازه هایی که روی زمین نرم قرار دارند استفاده کرد. اندازه گیری در لوله های مایل نیز امکان پذیر است، بطور مثال در رفتار نگاری تغییر شکل سطح بالا دست سدهای بتنی.

بیشتر انحراف سنج ها از چهار قسمت اصلی تشکیل شده است:

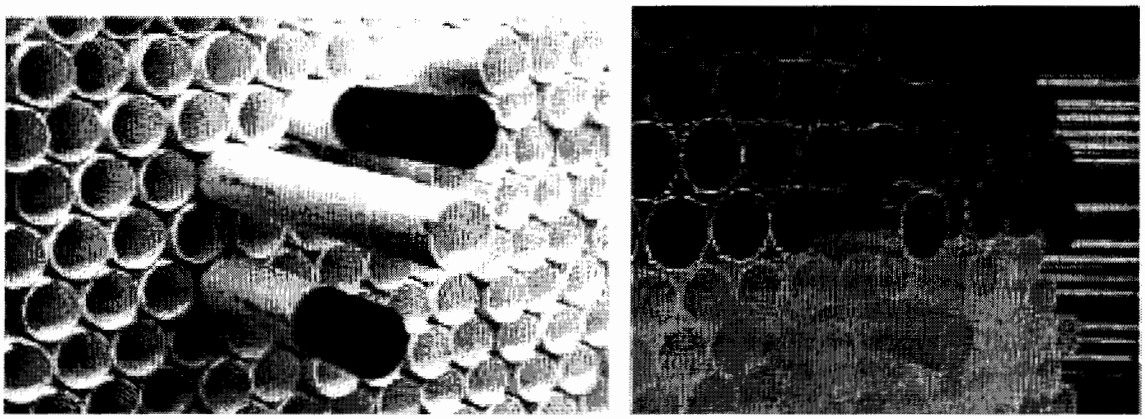
۱) لوله راهنمای دائم که از پلاستیک، آلومینیوم آلیاژی، فایبر گلاس یا فولاد ساخته شـده اسـت، (شکل ۵۴).

۲) کاوه قابل حمل که حامل انتقال دهنده حساس به ثقل است.

۳) واحد قرائت کننده قابل حمل برای تامین برق و نشان دادن انحراف کاوه.

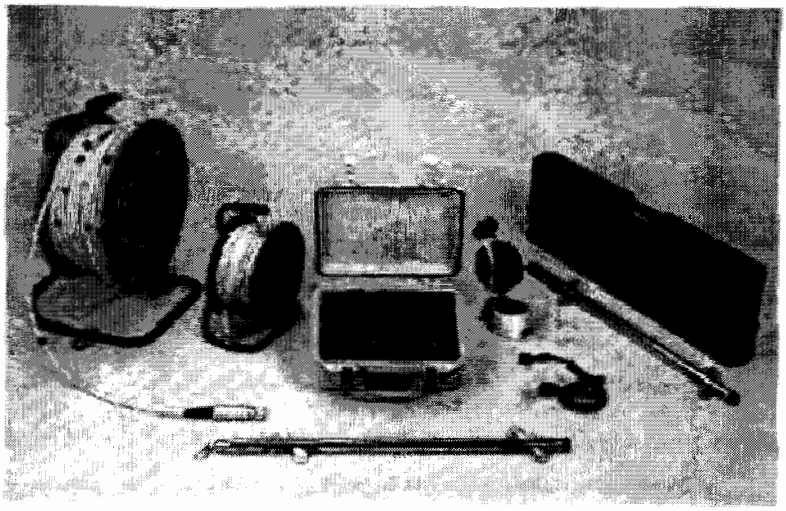
۴) کابل الکتریکی مدرج برای اتصال کاوه به قرائت کننده.

در شکل ۵۵- شمائی از انحراف سنج و متعلقات آن نشان داده شده است



شکل ۵۴ -لوله های راهنما، نوع دندانه دار فلزی وپلاستیکی (راست) و نوع تلسکوپی با قطر ۷۰ میلیمتر (چپ)

ساخت شرکتSisgeo [۱۲]



شکل ۵۵ -انحراف سنج ساخت شرکت Sisgeo [۱۲]

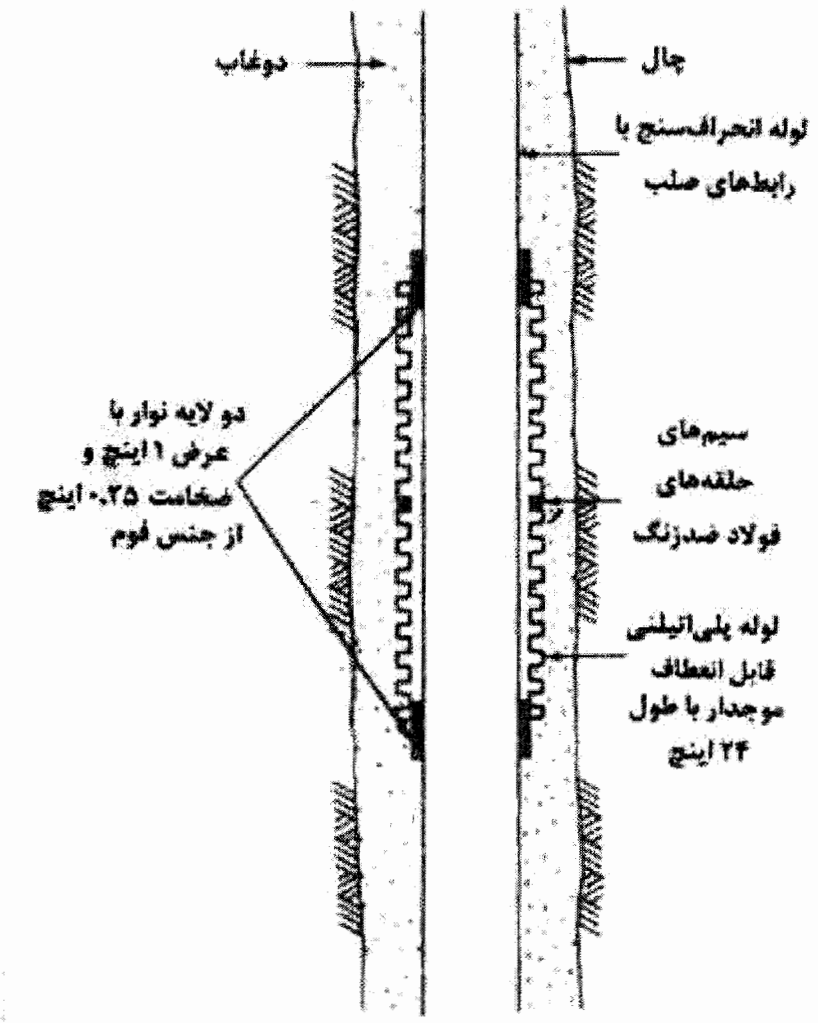
لوله راهنمای انحراف سنج در چال های تقریبا قائمی که نواحی مشکوک به حرکت را قطع می کند نصب می‌شود. ادامه چال حداقل ۴/۵ متر بعد از ناحیه مظنون بـه حرکـت و در خـاک یـا سـنگی کـه حرکتی برای آن پیش بینی نمی شود و ادامه می یابد. ۱/۵ متر آخر چـال بلحـاظ ریـزش هـای مـواد سست و رسوب آنها پر شده فرض می‌شود. لوله راهنما در موقعیت خود بوسیله ماسـه پـر کننـده و یـا دوغاب سیمانی ضعیفی نگهداشته می‌شود. هر ۱۵ متر لوله های راهنما از نظر چرخش (مارپیچی شدن شیارهای درونی) کنترل می شوند، این کار بوسیله ابزارهای معمولی صورت می گیرد. هر گاه برخـی از لوله ها راهنما در عملیات ساختمانی دچار چرخش شوند، ممکن است خطای قابـل ملاحظـه ای را در

مشاهدات ایجاد نماید. لوله های راهنما معمولا با طول ۱/۵ تا ۳ متر ساخته می شوند. معمولاً لوله های پلاستیکی بوسیله چسب و لوله های آلومینیومی بوسیله قطعات رابط به هم متصل می شوند. برای لوله های راهنمایی با طول بیش از ۱۵ متر نشیمنگاه های فلزی با نگهدارنده کامل فولادی برای کاهش چرخش در نظر گرفته می‌شود. بایست از ایزوله شدن اتصالات مطمئن شد چرا که نشدی موجب بروز خطا در قرائت و یا بسته شدن لوله راهنما می شود، محل اتصالات با درزه گیر عایق شده و نوار چسب زده می‌شود. جزئیات بیشتر نصب توسط کارخانه سازنده ارائه می گردد.

پس از تکمیل نصب لوله راهنما، کاوه به ته لوله راهنما فرستاده شده و یک قرائت انحراف صورت میگیرد و سپس کاوشگر به سمت بالا هدایت شده و داده هایی ثبت میگردد که معرف جانمایی اولیه لوله راهنما است. هرگونه تغییر بین این قرائت و قرائت های بعدی معرف تغییر در جانمایی لوله راهنماست.[۵]

مهمترین عامل در تعداد دفعات قرائت سرعت حرکات است. بیشترین دقت زمانی بدست می آید که فاصله بین پله های قرائتی برابر فاصله چرخ های انحراف سنج باشد. عملیات قرائت تا رسیدن انحراف سنج به سر لوله راهنما ادامه داده می‌شود سپس انحراف سنج را از لوله راهنما خارج کرده و با ۱۸۰ درجه چرخش آنرا مجدداً به انتهای چال می فرستند و مثل سری قبل قرائت ها تکرار می‌شود. دو سری برای هر جفت از شیارها قرائت انجام می‌شود سپس داده های درمحل کنترل می شوند و در صورتیکه اختلاف داده ها بیش از مقدار تعیین شده توسط کارخانه سازنده بود قرائت مجدداً برای آن عمق تکرار می‌شود. [۹]

گاهی از همان لوله هایی که برای کشیدگی سنج های لغزنده تعبیه شده است برای انحراف سنج ها نیز استفاده می شوند. برای این منظور با تعبیه ایستگاههای خاصی می‌توان از یک لوله راهنما برای دو منظور استفده کرد، (شکل ۵۶)



شکل ۵۶- شمائی از لوله راهنمای که برای دو منظور انحراف سنجی و کشیدگی سنجی استفاده می گردد [۵]

۷-۲-۱- انواع انحراف سنج ها

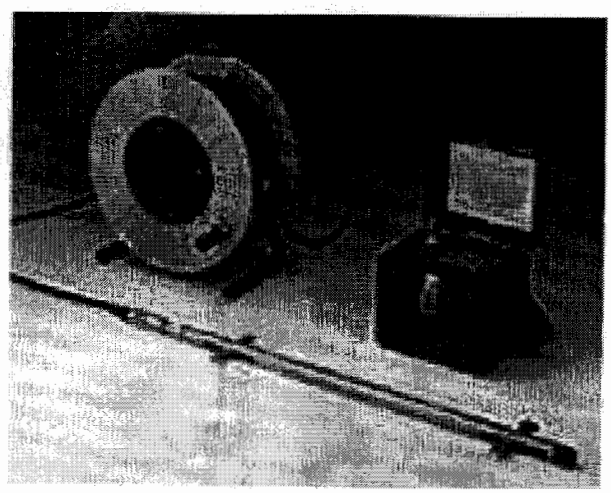
الف) انحراف سنج با انتقال دهنده شتابنگار موازنه نیرو

این ابزار دقیق از انواع بسیار رایج انحراف سنج است که در آن یک شتابنگار موازنه نیرو در کاوه تعبیه شده است. در این شتابنگار ولتاژ خروجی متناسب با انحراف می‌باشد. انواع دو بعدی شامل دو انتقال دهنده است بطوریکه انتقال دهنده دوم زیر انتقال دهنده اول با ۹۰ درجه اختلاف قرار داده

شده است. نیروی لازم برای موازنه کردن جرم وبتبع آن ولتاژ خروجی مستقیما به $\sin\theta$ وابسته است. لذا قرائت های دیجیتالی مستقیما درمحاسبات وارد می‌شود.

امکان استفاده از قرائت کننده های سیار و خودکاار وجود دارد. نوع سیار نسبتاً ساده تر و ارزانتر است و از یک منبع تامین برق، کنترل کننده ها و یک یا دو نمایشگر دیجیتالی تشکیل شده است. نمونه ای از این ابزار در (شکل ۵۷) نشان داده شده است. داده های دستگاه قرائت کننده در محل در یک جدول ثبت می گردد تا محاسبه بعدی روی آن بوسیله دست یا ماشین حساب یا برنامه کامپیوتری انجام شود.

قرائت کننده خودکار شامل یک منبع تامین برق، کنترل کننده ها، یک یا دو نمایشگر دیجیتال و همینطور نوار مغناطیسی با حافظه سخت افزاری برای ثبط و ضبط داده ها است.



شکل ۵۷- انحراف سنج با انتقال دهنده شتابنگار موازنه نیرو ساخت شرکت Geokon [۱۴]

ب) مدل 200 B

این انحراف سنج تک محوره ساخت شرکت Slope indicator از یک پتانسیومتر برای اندازه گیری انحراف استفاده می کند. مهمترین قسمت های انتقال دهنده، پاندول های آزاد آویزان و سیم پیچی مقاومتی کمانی شکل است، بطوریکه مرکز کمان نسبت به محور پاندول نصب می گردد. نوک پاندول مانند یک برف پاک کن در سیم مقاومتی عمل می کند، سیم پیچ به دو مقاومت کوچکتر تقسیم شده که در مجموع نصف مدار پل موازنه را تشکیل می دهد. مقاومت خروجی بستگی به مکان نوک سیم

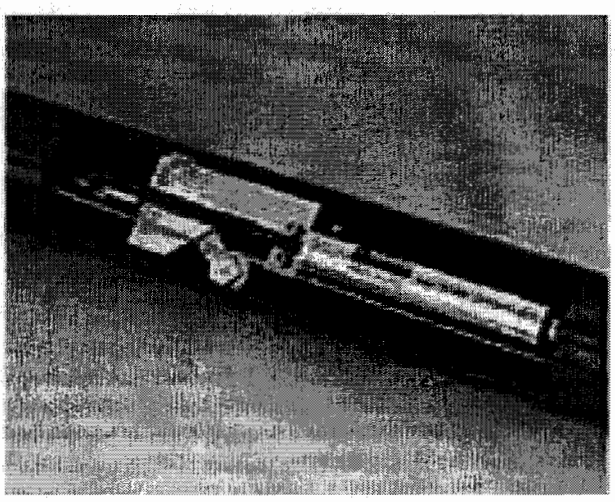
پیچ مقاومتی و بتبع انحراف کاوه دارد. نیمه دیگر پل شامل کلیدها، بابری ها و نشانگر پتانسیومتر است که در قرائت کننده تعبیه شده است.**[۲]**

ج) انحراف سنج با انتقال دهنده های مقاومت چسبان

در این انحراف سنج از کرنش سنج های مقاومت الکتریکی در پیرامون یک آونگ که در انتهای فوقانی آزادی عمل برای چرخش ندارد نصب شده است. انحراف موجب خمش پاندول و ایجاد کرنش در پاندول و تغییر در خروجی کرنش سنج می‌شود. از مدار پل وتسون برای اندازه گیری ها استفاده می‌شود.[۷]

د) انحراف سنج با انتقال دهنده های سیم لرزان

انتقال دهنده های سیم لرزان بر روی پاندول سفتی با شکل و شمایلی که در خصوص کرنش سنج مقاومت الکتریکی چسبان گفته شده می‌باشد، (شکل ۵۸). دو انتقال دهنده برای یک انحراف سنج یک محور و چهار عدد برای نوع دو محور لازم می‌باشد. واحد قرائت کننده شامل منبع تامین برق، کنترل کننده ها و شمارشگر فرکانس است.[۲]



شکل ۵۸ -انحراف سنج مدل ۶۳۰۰ با انتقال دهنده های سیم لرزان ساخت شرکت Geokon [۱۴]

۷-۲-۲ انحراف سنج های چند تایی

انحراف سنج های بر جا چند تایی معمولاً برای بخش دارای تغییر شکل قابل توجه در پیرامون فضاهای زیر زمینی یا شیروانی نصب می شوند. کاربرد این ابزار برای محل هایی است که رفتارنگری پیوسته یا خود کاری مورد نیاز باشد.

این ابزار از چندین انحراف سنج تشکیل شده که غالباً برای گمانه های قائم طراحی می‌شود و داده های خروجی آن مانند انحراف سنج های معمولی است. این ابزار از چندین انتقال دهنده با حسگر ثقلی تشکیل شده که بوسیله رادهای مفصل داری به هم وصل می شوند. انتقال دهنده های یک و دو محوره قابل استفاده هستند. این ابزار در محل هایی که پتانسیل حرکتی دارد نصب و داده های آن مثل انحراف سنج های معمولی مورد استفاده قرار می‌گیرند. [۱]

۷-۲-۳ عوامل موثر در دقت داده های انحراف سنج

از جمله عوامل موثر در دقت داده های انحراف سنج ها می‌توان به: دقت انتقال دهنده حساس به ثقل،طراحی و شرایط مونتاژ چرخ ها، راستای چال، قطر لوله راهنما، شیوه پر کردن پشت لوله راهنما، میزان مارپیچی شدن لوله راهنما، قابلیت تکرار قرائت ها در یک مکان، فواصل بین موقعیت های قرائت در لوله راهنما، تاثیر دما و حمل و نقل کاوه اشاره کرد.

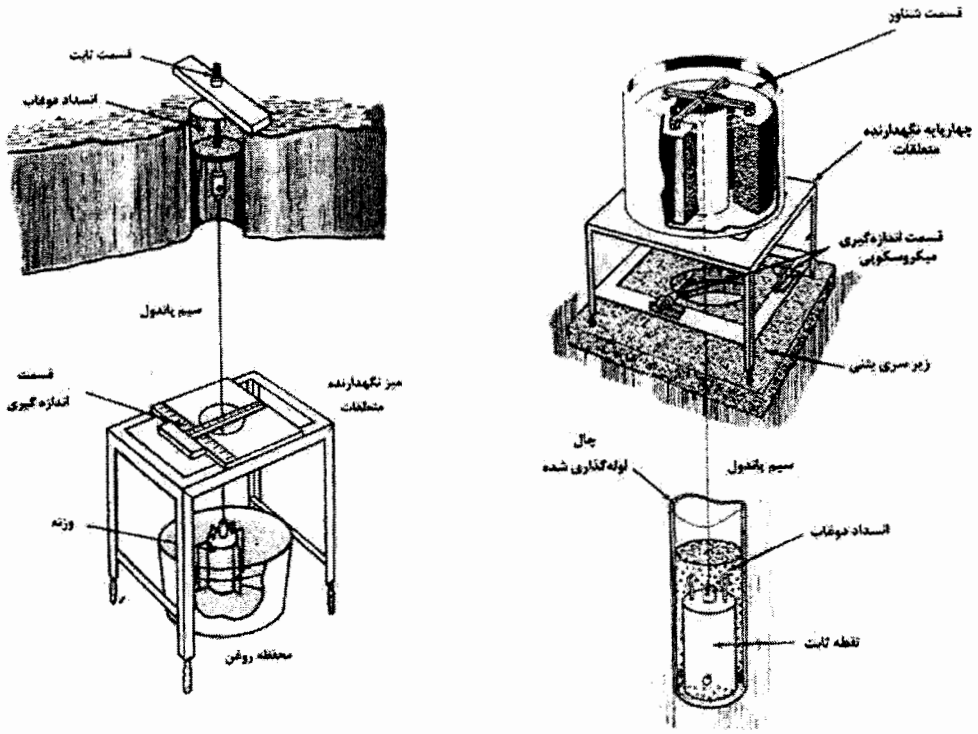
۳-۷ پاندول مستقیم و معکوس[۱]

پاندول مستقیم یا پاندول آویزان می‌تواند برای رفتار نگاری جابجایی های افقی در سدهای بتنی، مرزهای سد، سد چاه ها و ساختمان های بلند استفاده شود.

پاندول معکوس کاربردی شبیه پاندول مستقیم دارد و در محلی که امکان دسترسی به انتهای سیستم پاندول مستقیم مقدور نباشد استفاده می‌شود. آنها همچنین می توانند برای اندازه گیری دقیق تغییر شکل مطلق سطح زمین و همینطور ایستگاه های کنترل افقی برای روش های نقشه برداری استفاده شوند، (شکل ۵۹). هر دو سیستم یک جسم شناور با قابلیت حرکت آزادانه در مخزن آب را دارند. سیم کشیده پاندول همیشه بصورت قائم نگهداشته می‌شود. روشن است که هر دو سیستم نیازمند یک مجرای ارتباطی قائم هستند که یا درمرحله ساختمانی تعبیه می‌شود و یا پس ازاتمام کارهای ساختمانی در محل اولیه خود حفاری می گردند. این ابزار می‌تواند با دقت ۰/۵ ± میلیمتر در صورت استفاده از ابزارهای فولادی مدرج و تا ۰/۰۳ ± با استفاده میکروسکوپ ورنییر انحراف را اندازه گیری نماید. می‌توان با بکار بردن برخی ابزارهای خاص مانند حسگرهای نوری قرائت را بطور کنترل از راه دور انجام داد. [۵]

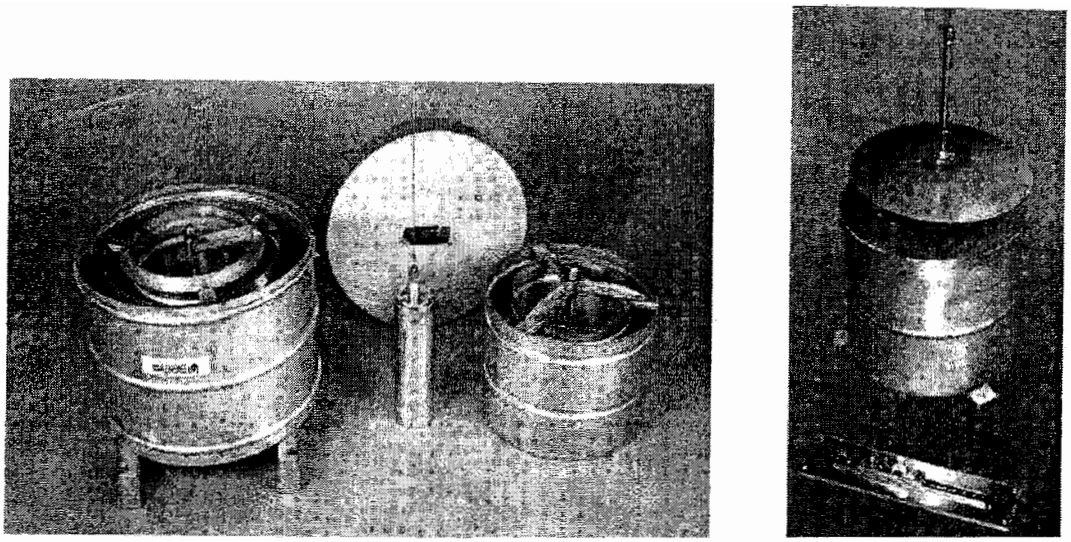
---

۱)Plum line and Inverted pendulum



شکل۵۹ - شمائی از پاندول مستقیم (سمت چپ) و پاندول معکوس (سمت راست) [۵]

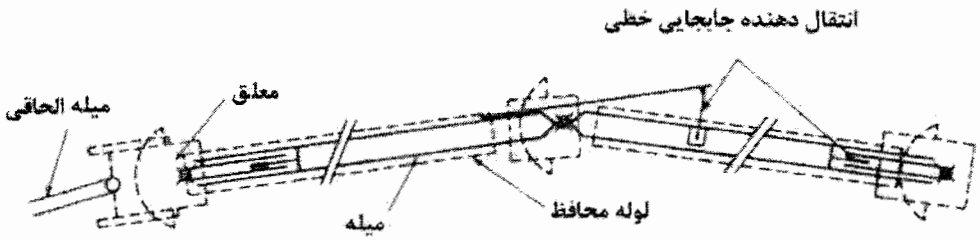
مزیتت سیستم پاندول مستقیم و معکوس سادگی و طولانی بودن عمر آنها است. مهمترین عیب آنها مشکلات ایجاد یک مجرای ارتباطی یا گمانه دقیقا قائم و نصب لوله است که نیازمند حفاری پر هزینه و ویژه ای است. (شکل۶۰)



شکل ۶۰- تجهیزات پاندول مستقیم (راست) و معکوس (چپ) ساخت شرکتSisgeo [۱۲]

۴-۷ دفلکتومتر چندتایی[۱]

دفلکتومتر را می‌توان جزو آن دسته از ابزارهای درون گمانه ای دانست که برای اندازه گیری تغییر شکل عمود بر چال مورد استفاه قرار می گیرند. بیشترین حوزه کاربرد این ابزار در چال های افقی برای اندازه گیری تغییر در انحراف (انواع یک قسمتی) یا آزیموت و انحراف (انواع دو قسمتی) می‌باشد. این ابزار در عمل بطور گسترده بکار برده نشده است،(شکل ۶۱).

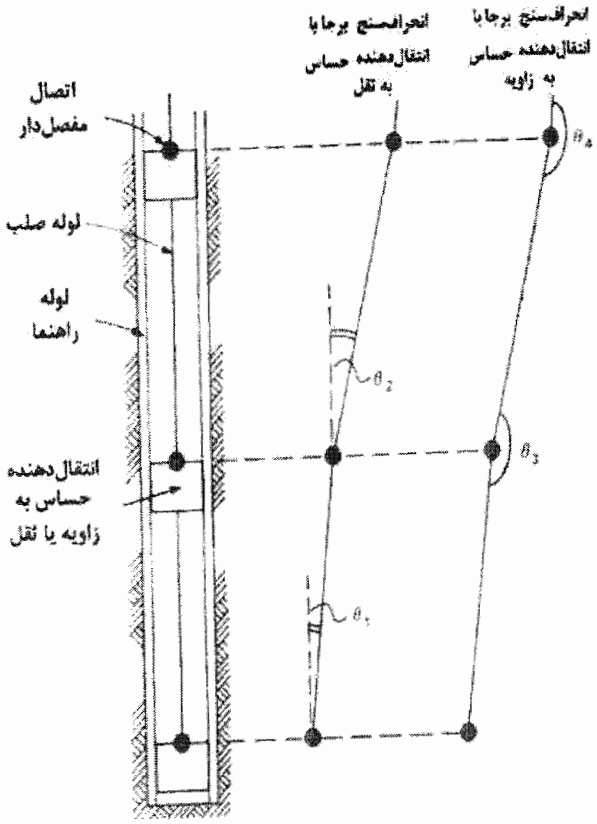


شکل ۶۱ - شمائی از دفلکتومترهای چندتایی [۵]

در انواعی از این ابزار از کشیدگی سنج لغزنده نیز استفاده شده است لذا یک ابزار دو منظوره بوجود می آید. اصول کارکرد دفکلتومترهای چندتایی که گاهی دفکلتومترهای زنجیری نیز نامیده می

۱)Multiple Deflectometers

شود، مانند انحراف سنج های ثابت است اما در آن چرخش بوسیله انتقال دهنده های زاویه بجای انتقال دهنده های انحراف اندازه گیری می‌شود. این ابزار از دو بازوی اندازه گیری تشکیل شده است که طول هر یک حدود یک متر است و بکمک یک اتصال الکترومکانیکی معمولی به هم وصل هستند دفلکتومتر بکمک رادهایی به درون چال هدایت می‌شود و در هر متر قرائت صورت می پذیرد دفکلکتومتر جابجایی نسبی دو بازوی اندازه گیری را تعیین می کند، (شکل ۶۲).



شکل ۶۲ -مقایسه عملکرد انحراف سنج و دفلکتومترهای چند تایی [۵].

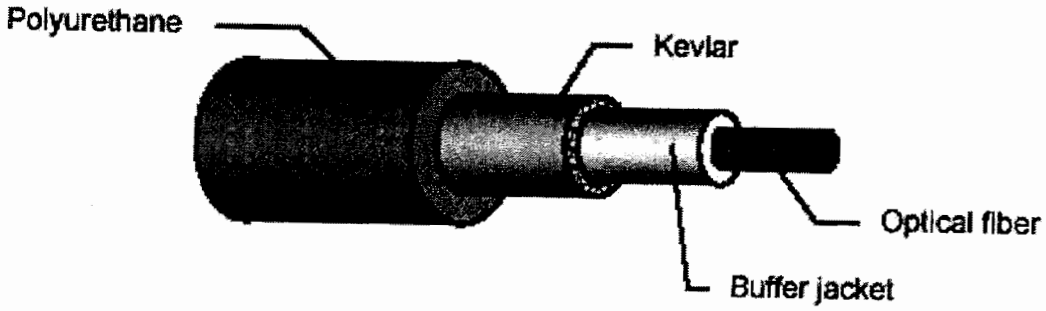
می‌توان این ابزار را مانند انحراف سنج برای تعمیر یا کالیبراسیون مجدد از چال خارج کرد. برتری این ابزار نسبت به انحراف سنج آن است که محدودیتی از نظر انحراف و راستای چال ندارد. چرا که انتقال دهنده های این ابزار بر اساس ثقل عمل نمی کنند. یک نقص این ابزار نسبت به انحراف سنج آنست که چون داده های دفلکتومتر از محاسبه موقعیت یک بازو نسبت به بازوی دیگر ابزار تعیین شده است و نه بر اساس ثقل لذا سیستم برآوردی از پیچش مجموعه را در بر ندارد. دومین عیب دفلکتومتر

اینست که خطاها بطور نمایی انباشتگی پیدا می کنند در حالی که در انحراف سنج انباشتگی خطا مطابق قواعد علم حساب است.[۵]

۷-۵- حسگرهای فیبر نوری[1]

مزیت حسگرهای فیبر نوری به توانایی فیبرها در انتقال دادن نور از یک منبع به یک گیرنده حساس به نور بستگی دارد. حسگرهای فیبر نوری می توانند برای برآورد کردن موقعیت نسبی بین یک جسم و انتهای یک فیبر یا فاصله دو نقطه در طول یک فیبر استفاه شوند. از آنها می‌توان در نشان دادن خمش نیز استفاده کرد. این ابزار تحت تاثیر دما یا رطوبت های بالا و نوفه[2] های الکتریکی و مغناطیسی قرار نمی گیرد. بعلاوه این حسگرها دارای ابعاد کوچک، وزن کم، عدم رسانایی، مقاومت بالا در مقابل خوردگی، توانایی در انتقال نور در مسیرهای قوس دار است که امکان دسترسی به مکان هایی که در حالت عادی غیر قابل دسترس اند را فراهم می آورد. قابلیت اتکای بالا بدلیل اینکه بیشتر حسگرها در شرایط ذکر شده غیر فعال هستند.

در کابل فیبر نوری امکان عبور نور سفید با سرعت بالا و درفواصل طولانی با میزان میرایی پایین سیگنال میسر گردیده است، در شکل (۶۳) طرح شماتیک یک کابل فیبر نوری نشان داده شده است.



شکل ۶۳ -طرح شماتیک فیبر نوری [۱۱]

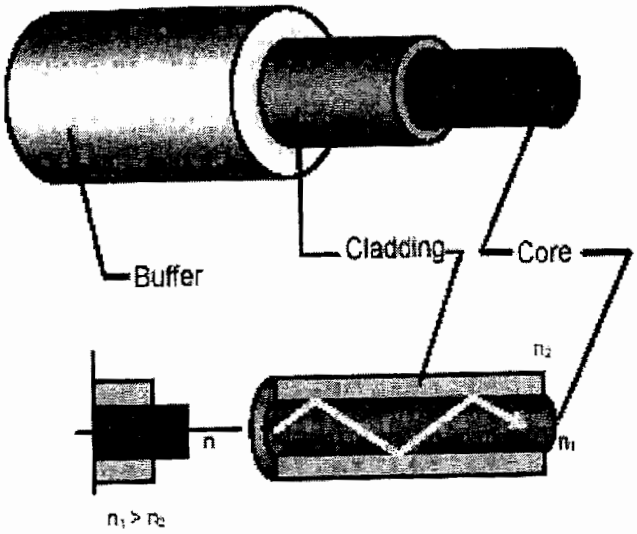
تمامی فیبرهای نوری از مواد عایق ساخته شده اند که در برابر امواج الکترومغناطیسی، فرکانس های رادیویی و صاعقه ایمن هستند. انواع مقاوم در مقابل حرارت شدید نیز ساخته شده است. میرایی

---

1) Fiber-optic Sensors

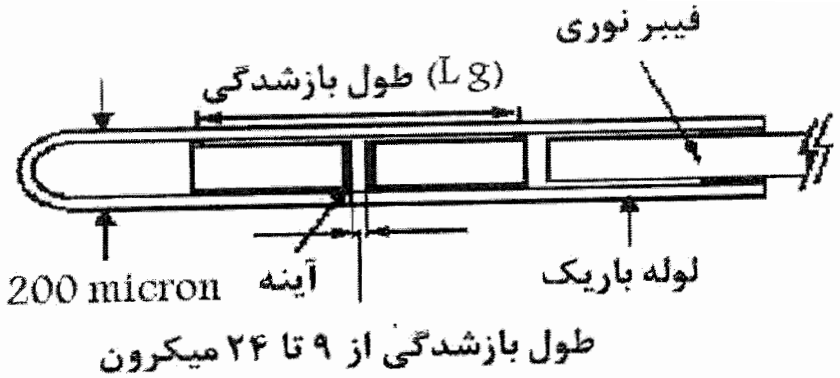
2) Noise

آنها معمولا یک دسی بل بر کیلومتر و یا کمتر است، در سنسورهای Fabry –pyrot کیفیت اندازه گیری تحت تاثیر میرایی قرار نمی گیرد لذا امکان استفاده از کابل هایی با طول زیاد وجود دارد. سیگنال های نور سفید با انعکاس در درون فیبر نوری بین هسته و پوشش فلزی که هر کدام اندیس انکسار متفاوتی دارند، انتشار می یابد (شکل ۶۴).



شکل ۶۴- انکسار نور در فیبر نوری [۱۱]

در شکل (۶۵) اساس عملکرد کرنش سنج فیبر نوری نشان داده شده است. در این کرنش سنج المان سنسور خارج از فیبر نوری واقع شده است. این ابزار شامل دو آینه است که سطوح آنها روبروی هم قرار دارند. آینه ها ازمواد نیمه انعکاسی ساخته شده و بر روی نوک فیبر نوری واقع شده اند. فاصله آینه ها، طول باز شدگی نامیده می‌شود که بین صفر تا چند میکرون، با توجه به میزان بازشدگی یا بسته شدن کرنش سنج متغیر است. فاصله بین نقاط اتصال، طول کرنش سنج (L_g) نامیده می‌شود که با مبنای اندازه گیری کرنش سنج مطابقت دارد.

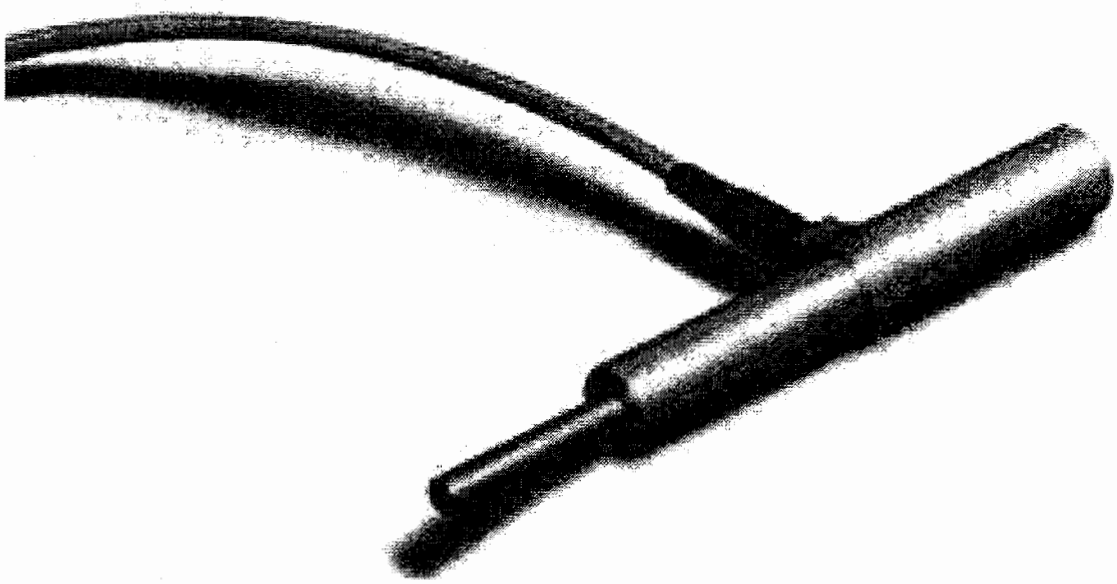


شکل ۶۵ -اساس عملکرد فیبر نوری [۱۰]

یک سیگنال نور سفید که از دیود ساطع می شود، توسط فیبر نوری در دستگاه قرائت کننده جذب شده و سپس با انعکاس درونی در فیبر نوری انتشار مـی یابـد و بـه انتهـای دیگـر آن کـه در حـسگر Fabry-pyrot قرار دارد می‌رسد. اولین آینه نیمه انعکاسی، بخشی از نور سفید انتقال یافته توسط واحد قرائت را منعکس می کند . بقیه نور در طول بازشدگی حرکت نموده و سپس بصورت بخـشی، توسـط آینه دوم منعکس می گردد. نورحاصل از دو انعکاس با هم تداخل کرده، بطوریکه نـور سـفید اولیـه در چندین طول موج مجزا به سمت واحد قرائت کننده حرکت می کند، به طور همزمان فاصله باز شدگی توسط واحد قرائت کننده تعیین می‌شود. در صورت ایجاد کرنش، طول باز شدگی تغییر می نماید کـه توسط معادله زیر قابل تعیین است:

$$\text{Strain } (\varepsilon) = \Delta L_{cavity}/L_g \qquad (۱-۴)$$

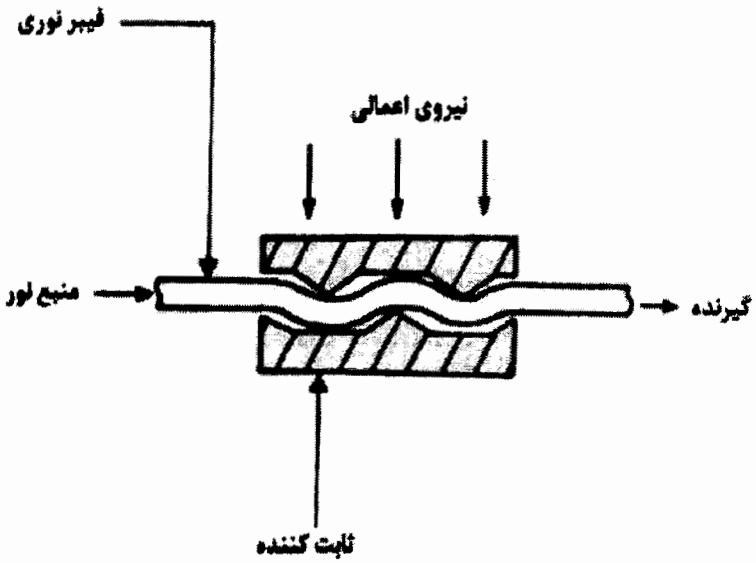
با تغییر نحوه قرار گیری طول باز شدگی، امکان ساخت انواع ابزارهـای رفتـار نگـاری جهـت انـدازه گیری پارامترهای مختلف فراهم می‌شود. شمائی از کرنش سنج فیبر نوری در شـکل (۶۶) نـشان داده شده است.



شکل ۶۶- شمائی از کرنش سنج فیبر نوری ساخت شرکت Roctest [۱۵]

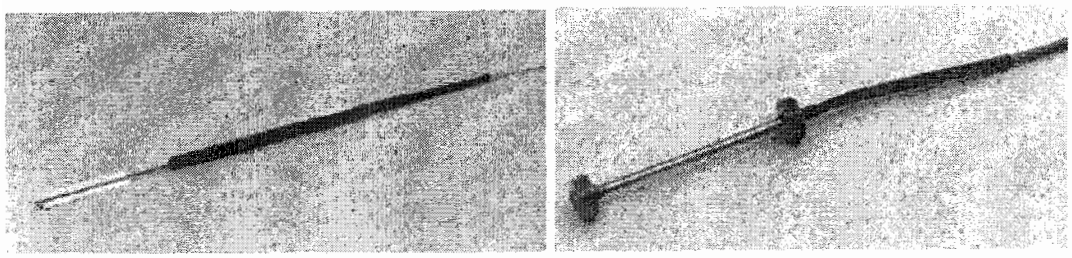
استفاده ازاین ابزار در حال حاضر گسترش زیادی در حوزه ابزارهای ژئوتکنیکی ندارد ولی با توجه به قابلیت های آن انتظار می رود و توسعه کاربرد آن در حوزه ابزارهای دقیق ژئوتکنیکی بسرعت افـزایش یابد.[۵]

هنگامیکه فیبر نوری خم می شود، مقادیر کمی نور از اطراف دیواره ها خارج می‌شود. با اسـتفاده از حسگر میکرونی خمش تغییر در چگالی نور رسیده می‌تواند به مقدار تغییر شکل ایجـاد شـده مـرتبط گردد، (شکل ۶۷). [۵]



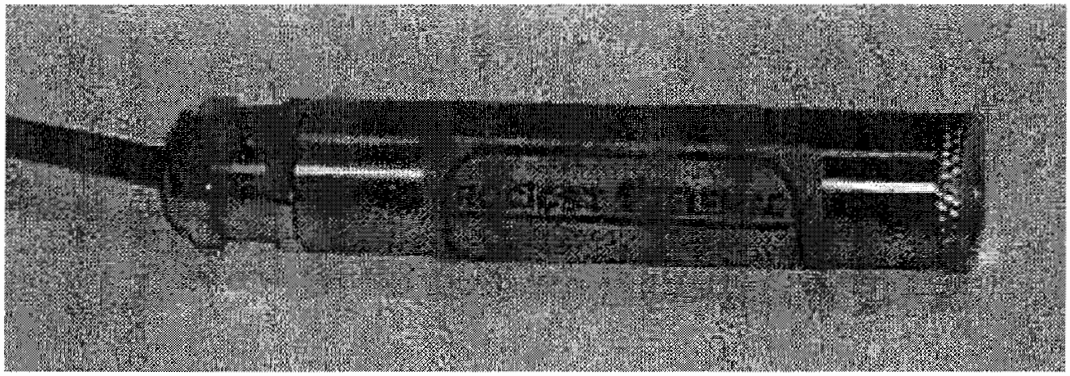
شکل ۶۷ شمائی از حسگرهای میکرونی خمش فیبر نوری [۵]

این حسگرها می توانندتغییرات عوامل فیزیکی مانند فشار، دما، جابجایی و کرنش را اندازه گیری نمایند. این حسگرها قابلیت اتصال بر روی سطح یا مدفون شدن درون مصالح و مواد برای رفتار نگاری پیوسته را دارد. نوع جدیدی از حسگرهای فیبر نوری با علامت انحصاری EFPI[۱] توسط شرکت Roctest ساخته شده است. در این ابزار از منبع نورلیزر بجای نور سفید استفاده شده است. از مزایای این فن آوری دقت بالا و اندازه گیری کاملا خطی است. حسگرهای EFPI بر اساس اصول تداخلی عمل می نمایند. برخی از انواع حسگرهای EFPI برای اندازه گیری فشار و جابجایی در اشکال (۶۸) و (۶۹) نشان داده شده است.[۱۰]



شکل ۶۸ -حسگر کرنش فیبر نوری EFPI: نوع مدفون در بتن (راست)،نوع جوش نقطه ای (چپ) [۱۰].

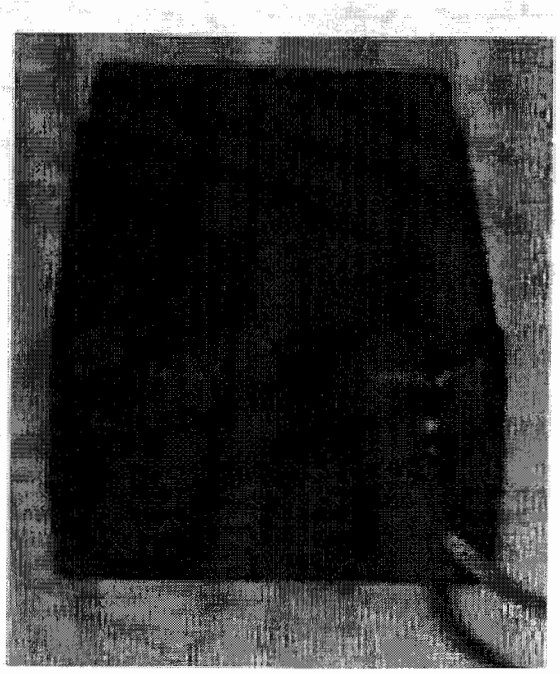
۱)Exterinsic Fabry-pyrot Interferometer



شکل ۶۹ -حسگر فشار فیبر نوری EFPI [۱۰].

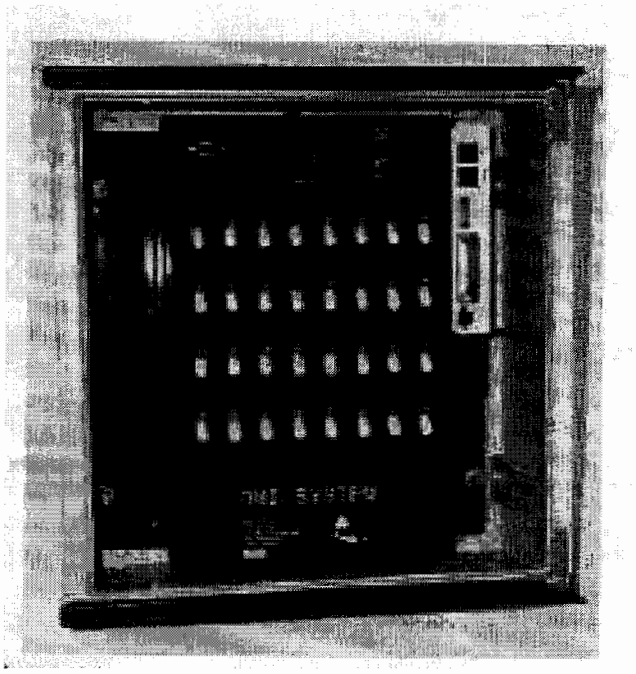
۷-۵-۱ دستگاههای قرائت کننده حسگر فیبر نوری

در تمامی ابزارهای مجهز به فیبر نوری، دستگاه قرائت کننده منبع تولید نور سفید است. دستگاههای قرائت کننده می‌تواند به شکل سیار و یا ثابت باشند، (شکل ۷۰)



شکل ۷۰ -دستگاه قرائت کننده سیار برای قرائت صحرایی، ساخت شرکت Roctest [۱۵]

استفاده از داده نگار در مواردی که تعداد حسگرهای فیبر نوری قابل توجهی است توصیه می شود، (شکل۷۱)



شکل ۷۱ -داده نگار ۳۲ کاناله ساخت شرکت Roctest [۱۵]

تاخیر زمانی تغییر کانال در داده نگار فوق ۱۵۰ میکرو ثانیه است، بنابراین قرائت در داده نگار ۳۲ کاناله درکمتر از ۵۰ ثانیه صورت می گردد. ظرفیت حادثه این داده نگار ۶۰۰۰۰ داده ونرخ فرکانسی آن در بارگذاری های نیمه دینامیکی ۲۰ هرتز (۲۰ قرائت در هر ثانیه برای هر کانال) می‌باشد. داده های ثبت شده امکان قرائت با قرائت کننده سیار و همینطور قابلیت انتقال به رایانه را نیز دارد. بعلاوه امکان ارسال داده ها به ایستگاه مرکزی رفتار نگارگری توسط خط تلفن را نیز دارد. داده نگارهای جدید ثبت همزمان داده های دینامیکی و استاتیکی با بسامد ۱۱۰ هرتز را میسر ساخته اند. یک مزیت مهم داده نگارهای فیبر نوری امکان قرائت انواع مبدل های مختلف که بر اساس سیستم Fabry-pytrot ساخته شده اند، داراست. پارامترهای اندازه گیری شده بطور مستقیم بصورت واحدهای مهندسی نمایشی داده می شوند و تنها بایستی کار بر ضریب اصلاحی حسگر، دامنه و حساسیت آن را در حافظه دائمی دستگاه قرائت کننده وارد کند.

منابع:

[۱] مقدمه ای بر مکانیک سنگ،تالیف دکتر سید رحمان ترابی،انتشارت دانشگاه شاهرود.صفحه ۱۹۱ تا ۱۹۵

[۲] شاهوردیلو محمد رضا (۱۳۸۰) ،روش کاربرد همگرایی سنج در بررسی رفتار سازه های زیرزمینی،اولین کنفرانس مکانیک سنگ ایران،صفحه ۵۳۵ تا ۵۴۴

[۳]دکتر حسین معماریان (۱۳۷۷)،زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک،انتشارات دانشگاه تهران

[4]وی.اس.وتوکوی،ک.کاتسویاما،مترجم:دکتر فاروق حسینی(۱۳۷۶)،درآمدی بر مکانیک سنگ،مرکز خدمات فرهنگی سالکان

[5]Dunnicliff John(1993),Geotechnical Instrumentation For Monitoring Feild Performance,John Wiley&Sons,Newyork

[6]ASTM,D4403-84,standard practice for extensometers used in rock,1996,610-619,volume:04.08,section 4

[7]General Technical Specification For Masjed-e-Soleiman HEPP,Chp.5Pp:1d5 60-63

[8] TRIVEC,Swiss Federal Institute of Technology,Zurich, www.solepert.com

[9] ASTM,D4622-86,standard test method for rock mass monitoring using inclinometers,1996,p:750-756,vol:04-08,section 4

[10] p Choqute,P.Quirion,M.and Juneaue,F.Dadoun (2002),New generation of fabry pyrot optic sensors for dam monitoring , www.roctest.com

[11] P.Choqute,P.Quirion,M.and Juneau,F.(2002),Advance in fabry pyrot optic sensors and instrument for geotechnical monitorin ,www.roctest.com

[12] www.sisgeo.com

[13] www.Interfels.com

[14] www.Geokon.com

[15] www.roctest.com

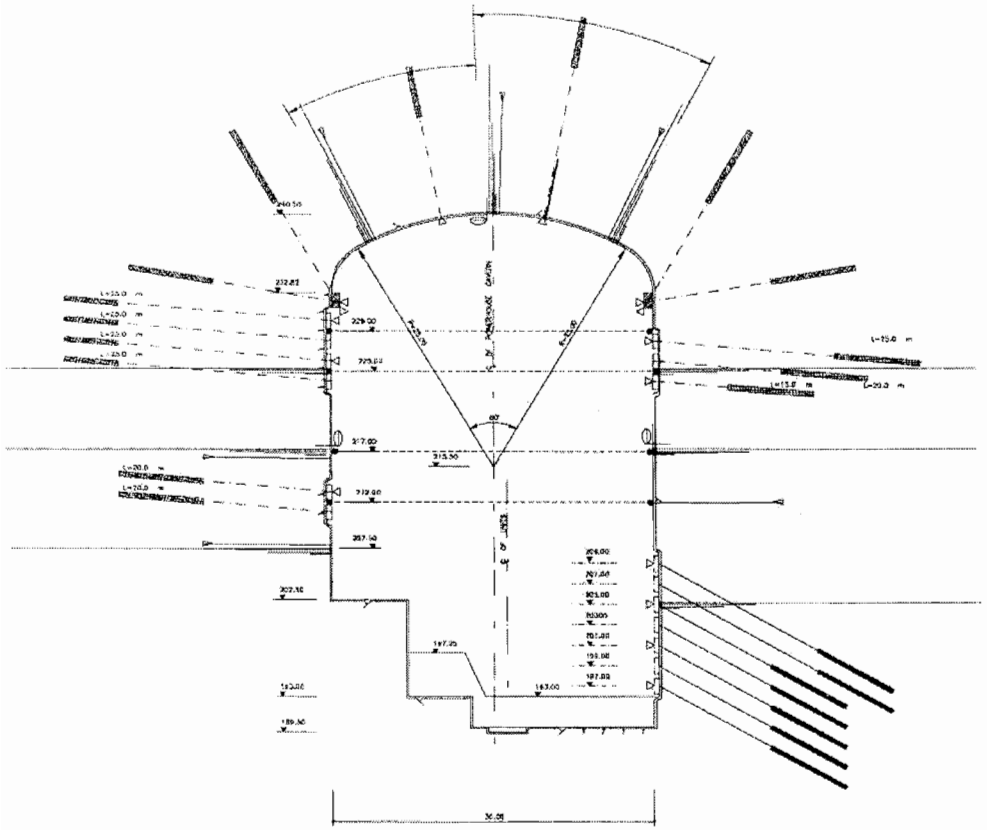
[16] wwwRstinstruments.com

[17] www.payab-zamzam.com

[18] www.solexpert.com

[19]www.Slopeindicator.com

ضمیمه(الف): یک مقطع ابزار دقیق از مغار طرح توسطه سد مسجد سلیمان



LEGEND :

MULTIPOINT EXTENSOMETER WITH 2,6,9,15,30m RODS, L=15m & 30m IN SECTION

SINGLE POINT EXTENSOMETER WITH 6m ROD, L=6m IN SECTION

MEASUREMENT WEDGE BOLT WITH DISC LOAD-CELL IN SECTION, L=12m (TYPE AIII,DIA.28mm)

PRESSURE CELL IN SECTION

ANCHOR HEAD WITH DISC LOAD CELL IN SECTION

CONVERGENCE MEASURMENT IN ELEVATION

INSTRUMENTATION CROSS SECTION AT POWERHOUSE CAVERN

ضمیمه(ب): یک مقطع ابزار دقیق از شیروانی سنگی سد مسجد سلیمان