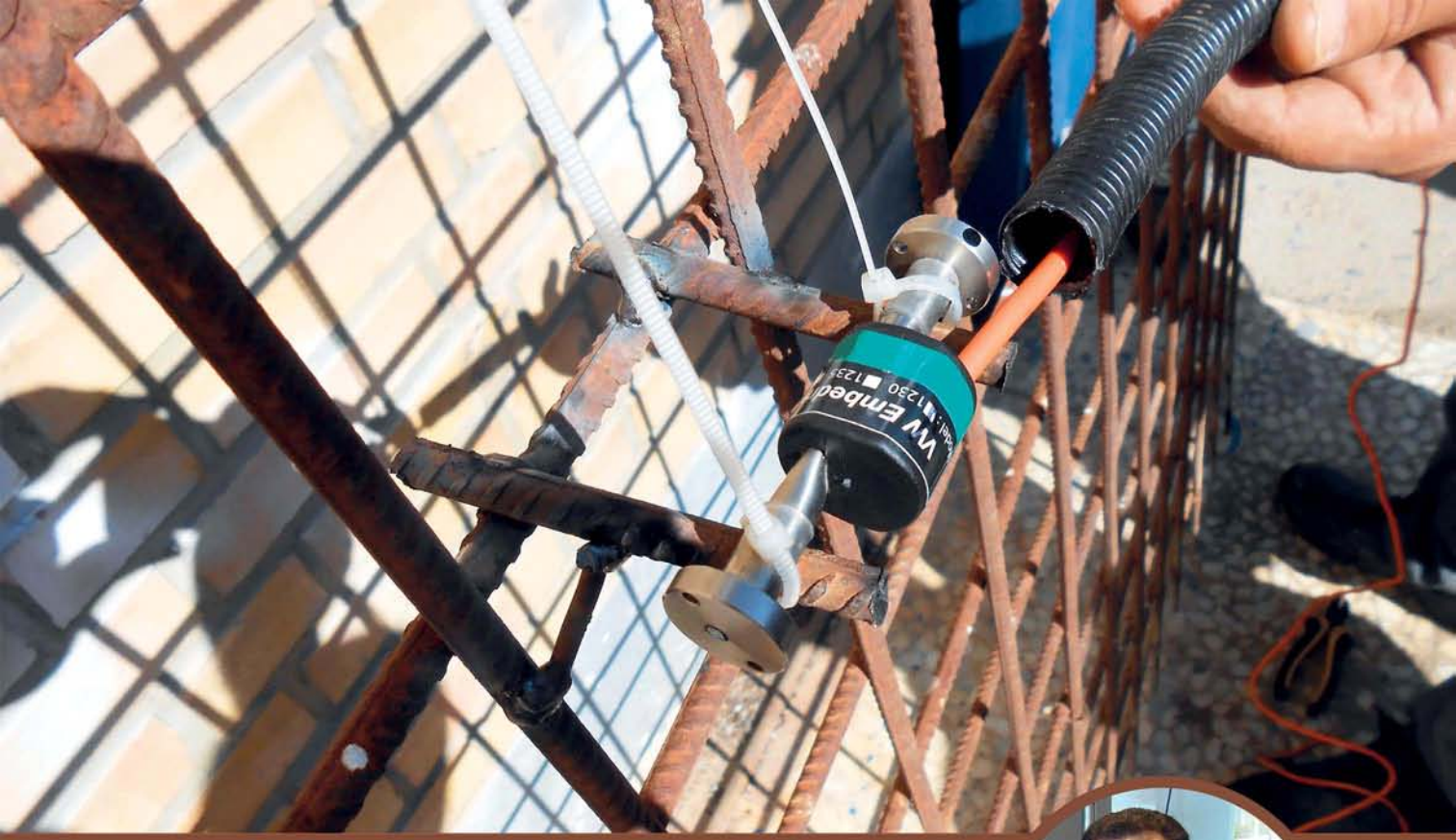

دکتر مهدی موسوی؛ ابزاربندی و پایش

دکتر مهدی موسوی، دانشیار دانشکده مهندسی معدن دانشگاه تهران و فارغ التحصیل مقطع دکتری در رشته مکانیک سنگ از دانشگاه کوئینز کانادا در سال ۱۳۷۷ است. ایشان دارای سابقه پژوهشی متعدد از جمله، تالیف بیش از ۴۰ مقاله چاپ شده در مجلات معتبر در زمینه‌های مختلف مانند ابزاربندی و رفتارنگاری، تحلیل پایداری و طراحی حفریات سطحی و زیرسطحی، آزمایشات آزمایشگاهی و برجا می‌باشد. آنچه در این شماره از نشریه میخوانید حاصل تجربیات ایشان در زمینه ابزاربندی و پایش پروژه های سطحی و زیرسطحی می باشد.

آقای دکتر منظور از پایش و مزیت انجام آن در پروژه‌ها عمرانی چیست؟

ابزاربندی و رفتارنگاری (Instrumentation and Monitoring) طبق تعریف به کلیه فعالیت‌هایی اطلاق می‌شود که در نتیجه آن، رفتار محیط تحت مشاهده قرار می‌گیرد. به عنوان مثال در حوزه عملیات گودبرداری، عموماً هدف از ابزاربندی زیر نظر گرفتن رفتار دیواره گود، المان‌های مسلح کننده خاک و سازه‌های اطراف می باشد.

انتخاب نوع و تعداد ابزار در یک پروژه بر چه اساسی تعریف می‌شود؟ آیا دستورالعملی یا توصیه‌نامه‌ای در این خصوص وجود دارد؟

به دلیل منحصر به فرد بودن پروژه‌های ژئوتکنیکی، انتخاب نوع ابزار در هر پروژه با هم متفاوت است و ابزارهای لازم با توجه به پارامتر (یا پارامترهای) بحرانی هر پروژه توسط مهندس مشاور تعیین می‌شود تا اطلاعات لازم در مورد پارامتر مربوطه را در حین اجرای پروژه به مهندسین بدهد. به عنوان مثال، اگر در یک پروژه، به دلیل مجاورت آن با ساختمان‌های اطراف، جابجایی برای ما مهم باشد مسلما حداکثر توان گروه مهندسی و اجرایی بر روی کنترل این پارامتر معطوف می‌شود، در نتیجه ابزاری هم برای نصب انتخاب می‌شود که میزان جابجایی را در زمانهای مختلف مورد سنجش قرار دهد. در حالت کلی انتخاب نوع ابزار در یک پروژه بر می‌گردد به سئوالی که ما از پروژه داریم و انتخاب تعداد ابزار هم بر می‌گردد به اهمیت پروژه مذکور و سازه‌های اطراف و تنوع ژئوتکنیکی محلی که پروژه قرار است در آن اجرا گردد. مسلما هر چه تنوع ژئوتکنیکی محل و پیچیدگی پروژه کمتر باشد از تعداد ابزار کمتری استفاده می‌کنیم.

برخلاف بسیاری از رشته‌ها که آیین نامه مدون دارند، در مبحث پایش چیزی به نام استاندارد نداریم و دلیل این موضوع، شاید تنوع پروژه‌ها باشد و لذا به دلیل این تنوع هیچ‌گاه امکان فراهم کردن نسخه‌ای ثابت برای تمام موارد وجود ندارد، اما بعضا نکاتی هست که توسط محققین و مراکز پژوهشی توصیه شده‌اند که بهتر است رعایت شوند تا بهره‌وری مناسبی از ابزاربندی داشته باشیم. مثلا در مورد انتخاب طول کشیدگی سنج‌ها (Extensometer) یک سری روابط بر اساس ارتفاع دیوار وجود دارد که معمولا رعایت می‌شود و یا در مورد محدوده و دقت ابزارهای مورد استفاده باید اصولی را رعایت کرد که شاید بتوان آنها را مشابه استاندارد تلقی نمود.

لطفاً بفرمایید در چه مرحله‌ای از گودبرداری، بهتر است نصب ابزار شروع شود؟ همچنین توضیح مختصری در مورد ترتیب و اولویت بندی ابزار نیز برای خوانندگان بدهید؟

این‌که در چه مرحله ای از گودبرداری، ابزاربندی شروع می‌شود بستگی به نوع ابزار دارد. به عنوان مثال؛ جهت بررسی تغییرات در میزان بازشدگی درز انقطاع ساختمان‌های مجاور و یا بررسی رفتار ترک‌های احتمالی موجود و کنترل نحوه پیشرفت آن روی دیوار ساختمان‌های مجاور در حین عملیات گودبرداری، باید قبل از شروع گودبرداری، درزه‌سنج و ترک‌سنج را روی ساختمان‌های مجاور نصب کرد. همچنین نصب چرخش‌سنج و نقاط هدف نقشه‌برداری روی سازه‌های اطراف قبل از شروع گودبرداری انجام می‌شود. اما بعضی از ابزارها مانند بارسنج و کشیدگی‌سنج عموما بعد از شروع گودبرداری و با پیشرفت آن، به تدریج در محل‌های موردنظر نصب می‌شوند.

این‌که در پروژه‌ها اولویت با چه ابزاری است باید گفت که اولویت در استفاده از ابزارهایی است که حتی‌الامکان ساده و در مقابل خرابی مقاوم باشد و یک تکنسین با دانش متوسط بتواند آن را نصب و از نتایج آن استفاده کند. نصب و قرائت تجهیزات با تکنولوژی بالا نیاز به افراد با تخصص بالا دارد و هر تکنسینی توانایی این کار را ندارد. از طرفی در

صورت بروز خرابی افراد متخصص کمی در کشور هستند که بتوانند آنها را تعمیر کنند. در نهایت باید از ابزاری استفاده کرد که علاوه بر دارا بودن دقت کافی، ساده و مقاوم هم باشد و مسئولین اجرای پروژه نباید درگیر تهیه ابزار با تکنولوژی بالا شوند چرا که علاوه بر قیمت بالا، استفاده از آنها پیچیده است و ممکن است استفاده از خروجی ابزارها به درستی صورت نگیرد.

نظر شما به عنوان کسی که در حوزه ابزاردقیق در پروژه‌های مختلف کار کرده‌اید، در مورد ابزار داخلی و خارجی چیست؟

در کشورهای پیشرفته، تقریبا نزدیک به ۵ دهه است که موضوع پایش مورد توجه قرار دارد، در حالی که پایش در ایران قدمتی نزدیک به ۳ دهه دارد و در مقایسه با پایش در حوزه سد، تونل و معادن، علم پایش در حوزه گودبرداری نسبتا جدیدتر است. با توجه به پیشرفت تدریجی پایش در ایران و دیگر کشورها، شرکت‌های سازنده ابزار نیز ابزار خود را به روز کرده‌اند. قدیمی‌ترین شرکت تولید ابزار در ایران نزدیک به ۱۸ سال سابقه تولید دارد و تقریبا اکثر ابزارهای مورد نیاز را تولید می‌کند.

شرکت‌های خارجی تولید کننده ابزار به دلیل قدمت بیشتر تجربه بیشتری نسبت به شرکت‌های تولید کننده داخلی دارند با این حال ابزار های داخلی از جهات دیگر دارای مزایایی هستند که توجه به آن حائز اهمیت است.

یکی از نکاتی که در انتخاب خارجی یا داخلی بودن ابزار باید به آن توجه شود، محدودیت‌هایی است که ابزارهای خارجی به ما تحمیل می‌کنند. اگر به هر دلیلی قرار بر این شد که از ابزار خارجی استفاده شود عموماً باید تمام ابزار مورد نیاز یک پروژه به صورت یک‌جا خریداری شود و نمی‌توانیم آن را به صورت مرحله به مرحله و با پیشرفت گود خریداری کنیم. در این صورت امکان تغییر نوع و تعداد ابزار در حین پروژه وجود ندارد یا باید هزینه زیادی را برای خریداری مجدد صرف کنیم. در صورتی که استفاده از ابزار داخلی چنین محدودیت‌هایی ندارد و حتی می‌توان با پیشرفت کار و مرحله به مرحله ابزار را خریداری کرد و در صورت نیاز مشخصات ابزارها را نیز به تدریج و با افزایش اطلاعات از رفتار زمین تغییر داد. از طرف دیگر، قیمت پایین ابزار داخلی در مقایسه با ابزار مشابه خارجی می‌تواند مزیت دیگر ابزار داخلی باشد و این که ابزار داخلی هزینه گمرک و انتقال ارز ندارد و به سرعت در دسترس است نیز قابل توجه می‌باشد. همچنین یکی دیگر از ویژگی‌های استفاده از ابزار داخلی این است که مهندسین سازنده این ابزارها در داخل کشور حضور داشته و در صورت لزوم می توان شاهد روند تولید ابزار در کارخانه بود و با کارشناسان آن ملاقات کرد و به بحث پرداخت در صورتی که وقتی ابزار خارجی خریداری می‌کنیم، معمولا اطلاعات تولید ابزار در اختیار نیست و در صورت نیاز به برقراری ارتباط حضوری این امر دشوار خواهد بود.

آیا ابزار نصب شده، ادامه عملیات گودبرداری را تحت تاثیر قرار می‌دهد؟ همچنین وجود فعالیت‌های عمرانی در پیرامون پروژه مذکور تا چه اندازه روی نتایج حاصل شده از ابزار نصب شده اثر می‌گذارد و چه باید کرد؟

در مواردیکه نتایج ثبت شده توسط ابزار نشانگر احتمال بروز ناپایداری در گود باشد، آنگاه مشاور طرح با ایجاد تغییر در روش اجرا یا با افزایش میزان سیستمهای تقویتی این ریسک را بر طرف می کند. بنابراین گاهی نتایج ابزاربندی باعث تغییر در روند اجرایی کار می شود.

وجود عملیات عمرانی در مجاورت گود، قطعا روی نتایج قرائت شده توسط ابزار تاثیرگذار است و مهندسین در زمان استفاده از نتایج قرائت شده باید تحلیل کنند که چند درصد اعداد مربوط به فعالیت عمرانی مجاور و چند درصد آن مربوط به خود عملیات گودبرداری است و آن را از هم تفکیک کنند. به هر حال آن‌چه در مورد ارزیابی پایداری یک گود مهم است برآیند کلیه اتفاقاتی است که در داخل گود و در مجاورت آن رخ می‌دهد.

عوامل جوی مانند گرما، باران و... تا چه اندازه بر روی دقت ابزار و نتایج بدست آمده تاثیرگذار هستند؟ برای کاهش این اثرات چه باید کرد؟

عملکرد ابزارها با توجه به ذات مکانیکی یا الکترونیکی که دارند در طول پروژه تحت تاثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرد. همانطور که قبلا هم گفته شد پروژه‌های گودبرداری، پروژه‌های سطحی هستند و در معرض عوامل جوی مانند گرما، سرما، باران و.... قرار دارند. از این رو هنگام استفاده از نتایج قرائت شده باید تاثیر عوامل جوی بر روی نتایج لحاظ شود. در اکثر ابزارها تاثیر عوامل جوی مانند گرما در هنگام ساخت دستگاه توسط شرکت سازنده با نصب حسگرهای دما دیده شده است و نتایج آنها نیاز به اصلاح ندارد ولی در دستگاه‌هایی که این حسگرهای دما تعبیه نشده باشد باید بر اساس محاسبات دستی تاثیر دما بر روی نتایج تصحیح شود. در مورد دستگاه‌هایی که در مجاورت آب و رطوبت نصب می‌شوند هم باید توجه داشت که به دلیل ساختار الکترونیکی که اکثر دستگاه‌ها دارند، بسیار به رطوبت و آب حساس بوده و معمولا برای مقابله با شرایط مختلف رطوبتی ساخته و با نماد (IP) دسته‌بندی می‌شوند و با توجه به شرایط آب زیرزمینی و رطوبت محیط می‌توان از دستگاه با IP مناسب استفاده کرد. در برخی از پروژه‌ها بر حسب اهمیت می‌توان به صورت مصنوعی هم از دستگاه در مقابل آفتاب و باران محافظت کرد و تاثیر این عوامل بر روی دقت دستگاه را کاهش داد. به عنوان مثال گاهی اوقات برای حفاظت از بارسنج نصب شده روی انکر، جعبه‌هایی برای محافظت از آن روی انکر نصب می‌شود تا دستگاه از تابش مستقیم نور خورشید و آب باران محافظت شود.

لطفا کمی در مورد نصب، قرائت و استفاده از نتایج خام یک ابزار مشخص توضیح دهید؟

همانطور که از اسم ابزار دقیق مشخص است، نصب این دستگاه‌ها نیاز به تیم متخصص دارد و باید با دقت بالایی در محل مورد نظر نصب شوند. برای نصب برخی از دستگاه‌ها

مثل کشیدگی سنج (Extensometer) بخشی از مراحل نصب بر عهده پیمانکار است و باید چال مناسبی را با زاویه، عمق و قطر مورد نظر در محل حفر کند. بعد از اتمام حفر چال، ابزار به درون آن انتقال داده شده و در عمق موردنظر مستقر می‌شود. باید توجه داشت که نحوه حمل دستگاه در محل باید مطابق دستورالعمل شرکت سازنده باشد تا آسیبی به دستگاه وارد نشود. سپس دستگاه در محل موردنظر تزریق شده و ثابت می‌شود. بعد از نصب کامل دستگاه، مرحله قرائت نتایج فرا می‌رسد. باید توجه داشت افرادی که برای قرائت انتخاب می شوند حتما صلاحیت لازم را داشته باشند. قرائت دستگاه اکثرا توسط شخص و در برخی مواقع به صورت اتوماتیک انجام می شود. با این روش خطاهای انسانی در قرائت نتایج کاهش می‌یابد و خود دستگاه در روز یا در زمان تعیین شده در چند نوبت نتایج را به صورت خودکار قرائت می کند. این که چه وقت از شخص یا سیستم خودکار برای قرائت استفاده می کنیم به حجم پروژه، تعداد دستگاه‌های نصب شده و محل نصب دستگاه بستگی دارد. تعداد قرائت و فاصله زمانی بین هر قرائت بستگی به اهمیت پروژه و سازه‌های اطراف دارد و اصولا در روزهای اول بعد از نصب ابزار (به دلیل این که تغییر هندسه در نزدیک دستگاه رخ داده و تاثیرپذیری دستگاه نیز بیشتر است)، تعداد قرائت بیشتر است و با گذشت زمان و پیشرفت پروژه (با توجه به فاصله پیدا کردن دیواره از ابزار نصب شده و کاهش تاثیرپذیری دستگاه از آن) تناوب قرائتها کمتر می شود. روند قرائت ابزار تا زمانی که تغییر پارامتر همچنان قابل توجه باشد ادامه می یابد. در مورد نتایج خروجی دستگاه هم باید گفت که برخی از دستگاه ها نتایجی را که به ما می‌دهند مستقیما بر حسب همان پارامتری است که ما به آن نیاز داریم (مانند کرنش، نیرو و ....) و در واقع ضریب تبدیل نتایج در درون خود دستگاه اعمال می شود. اما خروجی برخی دیگر از دستگاه ها خام هستند یعنی خروجی بر اساس میلی آمپر، ولت، فرکانس و .... هستند و باید به کمک روابط و ضرایب کالیبراسیون موجود، به نتایج قابل استفاده تبدیل شوند و جهت تفسیر بیشتر در اختیار مشاور قرار بگیرند.

آیا گودی در ایران و خارج از ایران سراغ دارید که با وجود این‌که ابزاربندی و پایش شده باشد، دچار گسیختگی و شکست شده باشد؟ دلیل شکست چه بوده؟

در مورد این سوال باید بگویم بله، پروژه هایی بوده اند که با وجود ابزار دقیق یا عملیات پایش دچار ریزش شده اند. دلیل این امر هم عموما این است که یکی از فرایندهای مهم در روند ابزاربندی به درستی رعایت نمی شود. اگر بخواهیم فرایند ابزاربندی را به یک زنجیر تشبیه کنیم، زمانی این زنجیر عملکرد مناسبی را از خود نشان می‌دهد که تمام حلقه‌های آن به‌خوبی به هم متصل شده باشند و هر یک مقاومت مناسبی داشته باشد. اگر تنها یک حلقه در این زنجیره ضعیف عمل کند عملکرد کلی زنجیر زیر سوال می‌رود.

با توجه به مطالب گفته شده ترتیب حلقه‌های اصلی در یک برنامه ابزاربندی می‌تواند به شرح زیر مرتب شوند:

- طراحی و انتخاب ابزار مناسب (در واقع باید بدانیم که دنبال چه پارامتری هستیم و برای قرائت آن از چه ابزاری باید استفاده کرد).
- نصب صحیح ابزار
- قرائت صحیح و به موقع نتایج توسط افراد مجرب
- تفسیر مناسب نتایج
- توجه ویژه به نتایج پایش و مقایسه مداوم آن با پیش بینی های حاصله از مرحله طراحی

اگر در پروژه‌ای یکی از حلقه های ذکرشده به درستی انجام نشود احتمال شکست پروژه حتی با نصب ابزاردقیق وجود خواهد داشت. مثلا در یک پروژه، بارسنج نصب شده روی انکر محدوده قرائتی بالایی داشته و این بارسنج اصلا تغییرات کم بار روی انکر را متوجه نشده است (مثالی از انتخاب ابزار نامناسب). یا در مواردی علیرغم وجود ابزار در محل مورد نظر، ناپایداری رخ داده که دلیل آن عدم قرائت ابزار موجود برای مدت های طولانی بوده است (مثالی از قرائت ناصحیح).

بطور خلاصه با توجه به هزینه بسیار کمی که یک برنامه مناسب ابزاربندی در یک پروژه گودبرداری دارد (در حدود ۲-۳ درصد مبلغ پروژه)، اجرای صحیح ابزار بندی منافعی بسیار بیشتر از هزینه مذکور را برای پروژه در پی خواهد داشت و می‌تواند نقش بسیار مؤثری را در کاهش ریسک‌ها و بهینه کردن روش اجرا ایفا نماید.

تهیه وتنظیم: صدرا روحی، رکسانا خیری