بررسی و مقایسه روش های اجرایی احداث ایستگاه های متروی اهواز طرح مورد مطالعه Top-Down Method

مهدی مهدوی عادلی[۱]، محمد کاظم خلیلیان[۲*]

۱ استاد یار دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، گروه عمران
mehmahad@yahoo.com
۲ دانشجوی کارشناسی ارشد واحد شوشتر، گروه عمران
k.p.h.m525@gmail.com

چکیده :

عملیات ساخت سازه های زیرزمینی به روش سنتی که به روش گودبرداری و اجرای فونداسیون سازه زیرزمینی آغاز شده و با ساخت سازه اصلی از کف به سمت بالا انجام و با تکمیل سقف نهایی پایان می یابد به روش Bottom-Up معروف است. برخلاف روش مذکور روش پیشرفته ای به Top-Down وجود دارد که در سال های اخیر در پروژه های بزرگ عملاً جایگزین روش ساخت سنتی بر کشورهای صنعتی گردیده است. این روش برخلاف روش سنتی با ساخت دیواره های دور، ستون ها و سقف نهایی آغاز و با تکمیل گودبردای و ساخت فونداسیون سازه زیرزمینی به اتمام میرسد. از مهمترین مزایای ای روش میتوان به حذف و یا به حداقل رساندن سطوح قالب بندی، حذف مهاربندیهای موقت بر زمان گودبرداری، ایجاد برخی تسهیلات ترافیکی در حین ساخت سازه و امکان استفاده از آن بر فضاهای محدود و پرتردد شهری اشاره نمود. ازاین شیوه اجرائی می توان بعنوان یک گرینه بسیار مهم اجرایی، بر کنار سایر روش های معمول بر ساخت سازه های زیرزمینی استفاده نمود. بدلیل قابلیتهای کاربردی بسیار وسیع این روش سعی بر این است در این مقاله روش Top-Down را که برای اولین بار در کشور جهت احداث برخی از ایستگاه های پروژه قطار شهری اهواز مورد استفاده قرار گرفته است را بررسی و معایب و محاسن آن را واکاویی نماییم.

کلمات کلیدی : روش اجرای بالا به پایین، گودبرداری و اجرای سازه های زیر زمینی، Top-Down ، Bottom-Up، روش های احداث ایستگاه های مترو

۱- مقدمه:

بالارفتن سرعت ساخت ساز و لزوم توجه به روش‌ها و فناوری‌های نوین به منظور فاصله گرفتن از روش‌های سنتی باعث روی آوردن به روش‌های اجرایی جدیدی شده که صنعت ساختمان را با تحولاتی شگرف روبه‌رو کرده است. بدون تردید نقش مدیریت ساخت در تهیه و بهنگام نمودن برنامه زمان‌بندی اجرایی و مالی در پروژه‌های ساختمانی یکی از ارکان حیاتی برای استفاده از این روش‌هاست؛ به گونه‌ای که با کوتاه کردن زمان اجرا، بالا بردن سرعت ساخت و اتمام به موقع پروژه، پیمانکار و کارفرما هر دو از منافع مادی و معنوی بسیاری برخودار می‌شوند.

افزایش سریع جمعیت شهری و نیاز روزافزون بشر به ساخت‌های عمرانی از قبیل ساختمان‌های بلند و زیرساخت‌هایی همچون خطوط زیرزمینی و قطار شهری از یک طرف و محدودیت‌های توسعه شهری از سوی دیگر باعث شده تا به تدریج مسئله گودبرداری‌های عمیق در فضای شهری به عنوان اولین گامِ اجرای یک فعالیت عمرانی، بسیار مورد توجه مهندسین و مدیران

ساخت قرار گیرد. از این رو انتخاب نحوه گودبرداری، نوع سیستم محافظ گود و روش ساخت مناسب با تامین کلیه شرایط اقتصادی، اجتماعی و ایمنی، از موارد مهمی است که انتخاب دقیق آن‌ها تاثیر زیادی بر روند اجرای طرح خواهد داشت.

استفاده از روش سنتی اجرای سازه‌ها از کف تا بالاترین تراز ساختمان، معروف به روش پایین به بالا، برای اجرای سازه‌های کوچک تا متوسط بسیار متداول می‌باشد که متاسفانه در کشور عزیزمان این روش برای ساخت سازه‌ها با هر اندازه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش، گودبرداری تا عمق معین به همراه سیستم مهار جانبی صورت گرفته و ساخت سازه از فونداسیون آغاز می‌گردد. سیستم محافظ گود متداول در این روش عمدتاً میخکوبی است که دارای هزینه بالا، سرعت اجرای پایین و عدم اطمینان کافی در گودبرداری‌های حجیم می‌باشد.

استفاده از تکنیک بالا به پایین در ساخت سازه‌های زیرزمینی یکی از روش‌های نوین اجرایی است که علاوه بر کاهش زمان اجرا و سرعت ساخت نقش بسزایی در تامین شرایط لازم برای احداث سازه در فضاهای محدود و پرتردد شهری دارد. معضلات ساخت و سازهای زیرزمینی درون‌شهری به خصوص در کلان‌شهرها از قبیل اختلال در عبور و مرور و ایجاد ترافیک و خطرات ناشی از گودبرداری‌های عمیق، همواره مدیریت شهری را با چالش‌های بسیاری مواجه کرده است.

این روش به عنوان انقلابی در ساخت سازه‌های بزرگ زیرزمینی، برای اولین بار در دهه ۷۰ میلادی، در ساخت ایستگاه‌های مترو شهرهای پاریس و میلان مورد استفاده قرار گرفت و اصطلاحاً به آن روش پوش و کند (Cover then Cut) می‌گفتند. در سال‌های اخیر و در پروژه‌های بزرگ، استفاده از این روش نوین ساخت با نام بالا به پایین (Top/Down Method)به دلیل مزایای عمده خود عملاً جایگزین روش‌های سنتی در کشورهای صنعتی شده است؛ به گونه‌ای که امروزه این روش مختص ساخت سازه‌های زیرزمینی و برج‌های بلند با زیرزمین‌های عمیق شده است. از نمونه‌های استفاده از روش مذکور می‌توان به ساخت قسمت‌هایی از طبقات زیرزمینی مارینا اسکای پارک سنگاپور در سال ۲۰۰۷ میلادی، برج تجاری بیتکسوی ویتنام در سال ۲۰۱۰ میلادی، برج سایه لندن در سال ۲۰۱۳ و طبقات زیرین برج شانگهای چین با مساحتی بالغ بر ۳۵ هزار متر مربع اشاره کرد.

۲- معرفی روش و متدولوژی اجرای سازه های زیر زمینی به روش بالا به پایین

۲-۱- روش نوین ساخت بالا به پایین

این روش شامل ساخت همزمان بالا و پایین یک ساختمان در یک زمان مشخص است که در آن سازه فوقانی و تحتانی با هم اجرا می‌شوند. این تکنیک نوین که عمدتاً در مناطق شهری برای تسریع در انجام مراحل پروژه‌ها مد نظر قرار می‌گیرد، خود ترکیبی از تکنیک‌هایی چون استفاده از دیوارهای دیافراگمی به عنوان دیوار محافظ گود (در زمین‌های سست)، اجرای شمع درجا با استفاده از ماشین آلات مخصوص و روش‌هایی برای حفاری خاک محل پروژه است .

۲-۲- مراحل اجرایی روش ساخت بالا به پایین

استفاده از روش بالا به پایین علاوه بر کاهش تاخیر ناشی از حفر زیرزمین، تاثیر به سزایی بر مدیریت برنامه زمان‌بندی انجام پروژه خواهد داشت. این روش شامل مراحل اجرایی خاصی است که از آن می‌توان برای هر پروژه بسته به شرایط آن استفاده نمود. مراحل کلی استفاده از روش بالا به پایین به شرح زیر است:

۱- نصب دیوار حائل محیطی: به عنوان اولین مرحله در ساخت سازه زیرزمینی در این روش، می‌بایست نسبت به اجرای دیوارهای محیطی سازه اقدام نمود. این دیوارها که در مراحل ابتدایی به عنوان محافظ گود کاربرد دارند، در مراحل بعدی به عنوان دیوار دائمی سازه اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از روش دیوار دیافراگمی نسبت به سایر روش‌های اجرایی در ساخت دیوارهای محیطی سازه زیرزمینی به دلیل مزایای فراوان آن، کاربرد بیشتری دارد.

۲- اجرای ستون‌های باربر و فونداسیون: اجرای ستون‌های میانی و باربر سازه زیر زمینی در نقاط مشخص شده با استفاده از یکی از تکنیک‌های شمع درجا یا ستون‌های پیش ساخته صورت می گیرد. بسته به موقعیت، در صورت نیاز به اجرای فونداسیون و افزایش باربری ستون، لازم است تا از شمع‌های پدستالی (انباره دار در انتهای شمع) استفاده شود. روش‌های متفاوتی برای اجرای ستون‌ها وجود دارد که از آن جمله می‌توان به اجرای ستون‌های بتنی درجا با مقاطع مربع، مستطیل و یا دایره‌ای بر اساس تجهیزات حفاری موجود، ستون‌های بتنی پیش ساخته، مرکب فولادی، ترکیب ستون‌های لاغر با ژاکت بتنی در حین ساخت سازه اصلی اشاره نمود.

۳- اجرای سقف نهایی سازه زیرزمینی: در این مرحله پس از اجرای ستون‌های باربر با در نظر گرفتن آرماتورهای انتظار در انتهای ستون‌ها و رگلاژ نمودن کف و اجرای بتن مگر، نسبت به آرماتوربندی و بتن‌ریزی سقف نهایی بر روی زمین طبیعی اقدام می‌شود . نکته‌ای بسیار مهم که می‌بایست در زمان اجرای سقف‌ها خصوصاً سقف نهایی سازه زیرزمینی مد نظر قرار داد تعیین موقعیت اجرای بازشوهای موقت است چرا که پس از اجرای سقف نهایی، کلیه عملیات اجرایی در ترازهای پایین‌تر صورت می‌گیرد و عملا ارتباط کارگاه روزمینی و زیرزمینی از طریق این بازشوها انجام خواهد شد. به این منظور موقعیت و ابعاد بازشوها باید به گونه‌ای انتخاب شود که علاوه بر تامین قابلیت مانور ماشین آلات حفار و حمل، دسترسی مناسب به تمامی طبقات پایین‌تر برای بتن‌ریزی و عملیات اجرایی وجود داشته باشد و حتی الامکان هیچ‌یک از ستون‌ها یا اعضای باربر سازه‌ای، درون محدوده بازشو قرار نگیرد.

۴- گودبرداری و اجرای سقف پایین تر: پس از تکمیل سقف نهایی، با قرار گرفتن ماشین‌آلات حفاری در محل بازشوها و گودبرداری تا تراز اجرایی سقف پایین‌تر، عملیات خاکبرداری ادامه می‌یابد و اتصال سقف به ستون‌ها و دیوارهای اصلی با استفاده از یکی از تکنیک‌های اتصالات جوشی یا مکانیکی انجام می‌گیرد،در ابتدای حفاری عمدتاً از بیل مکانیکی معکوس جهت سرعت‌دهی به امر خاک‌برداری استفاده می‌شود و با ایجاد رمپ راهی مناسب برای عبور و مرور ماشین‌آلات حمل و خروج مصالح ایجاد می‌گردد، خارج کردن مصالح از درون بازشوها بر اساس عمق و ابعاد سازه زیرزمینی و بدون ایجاد رمپ نیز امکان‌پذیر است. پس از رسیدن به ترازهای مورد نظر، با رگلاژ نمودن کف و اجرای بتن مگر، مراحل اجرای سقف بعدی با آرماتوربندی و بتن‌ریزی در ترازهای مختلف بر روی زمین طبیعی اجرا می‌شود. وضعیت زمین‌شناسی لایه‌های خاک، ارتفاع دقیق حفاری و انتخاب نوع ماشین‌آلات با ارتفاع کوتاه‌تر و توان بیشتر از نکاتی است که در زمان اجرای این مرحله لازم است به آن دقت شود.

۵- تکرار مرحله۴ تا رسیدن به اجرای فونداسیون: با تکرار مرحله قبلی، با خاکبرداری و رسیدن به تراز هر سقف زیرین، آن سقف نیز اجرا می‌شود و در حین انجام، مراحل تکمیل سقف های فوقانی سازه زیرزمینی با اجرای تأسیسات ادامه می یابد. پس از رسیدن به پایین‌ترین تراز، فونداسیون طراحی شده در ریشه‌ی ستون‌ها اجرا می‌شود.

۶- اجرای بنای فوقانی: در صورت وجود سازه فوقانی ، اجرای این سازه‌ی به روشهای مرسوم و طبق ضوابط، به طور موازی و هم‌زمان با انجام مرحله ۴ صورت می‌گیرد . و در غیر این صورت پس از آرماتور بندی و بتن ریزی بازشوهای موقت روی سقف نهایی ، خاکریزی انجام و امکان تردد روی سقف میسر می گردد.

۳- مزایای استفاده از روش ساخت بالا به پایین :

این روش که مزایای فراوانی برای ساخت سازه‌ها با گودبرداری‌های عمیق دارد، عمدتاً در پروژه‌های بزرگ مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از این روش برای ساختمان‌های بلند با بیش از ۵ طبقه زیرزمین می‌تواند باعث افزایش سرعت ساخت و کاهش هزینه‌ها شود. برخی دیگر از مزایای اصلی استفاده از روش ساخت پیشرفته بالا به پایین به شرح زیر است:

۱- کاهش نشست خاک در محدوه اطراف باکس حفاری ، افزایش صلبیت و کاهش حرکات جانبی دیوار حفاظت گود و ایمنی بسیار بالا در حین گودبرداری و ساخت سازه زیر زمینی خصوصاً در زمین های سست بدلیل استفاده از سقف طبقات بجای مهاربندی های موقت.

۲- عدم نیاز به تهیه، ساخت و نصب استرات ها و سایر سیستم های مهاربندی دیوار حفاظت گود و بالطبع کاهش هزینه های مهاربندی موقت و همچنین کاهش خطرات مونتاژ و دمونتاژ آنها.

۳- حذف یا به حداقل رساندن اجرای عملیات های زمان بر قالبندی در دیوارهای محیطی ، سقف ها و ستون ها بدلیل استفاده از زمین طبیعی بعنوان قالب در کلیه بخش های اجرایی و بالطبع کاهش چشمگیر زمان و هزینه های این بخش از عملیات.

۴- عدم نیاز به تمهیدات ایمنی گسترده مربوط به حفاری عمیق از قبیل نصب نرده و گارد ریل های محافظ دور تا دور محدوده باکس حفاری و بالطبع افزایش ایمنی در کارگاه.

۵- امکان برنامه ریزی جهت سه شیفت کاری در طول دوران ساخت و در همه فصول بدلیل انجام کلیه عملیات اجرایی در زیر سقف طبقات و در محیطی قابل کنترل.

۶- افزایش مساحت محوطه تجهیزات کارگاه پس از اجرای سقف اول که این امر بدلیل محدودیت فضا جهت تجهیز کارگاه ها در مناطق شهری از اهمیت بسزایی بر خوردار است.

۷- امکان استفاده از فضای زیر سقف طبقات در اسرع وقت بعنوان انبار سرپوشیده و هزینه های مربوطه در زمان تجهیز کارگاه را کاهش می دهد.

۸- امکان کاهش زمان احداث سازه زیر زمینی بدلیل امکان همپوشانی فعالیت های اجرایی.

۹- امکان تسریع در شروع عملیات اجرایی تاسیسات مکانیکی و برقی.

۱۰ کاهش مدت زمان اجرای سازه های بلند با زیر زمین های عمیق بدلیل امکان اجرای همزمان بخش های زیر زمینی و رو زمینی .

۴- محدودیت های استفاده از روش بالا به پایین Top-Down

برخی از محدودیت اجرای در استفاده از این روش عبارتند از :

۱- کبود تجارب فنی و اجرایی در دسترس در خصوص این روش بدلیل محدودیت پروژه های اجرا شده .

۲- عدم قابلیت کاربرد در اجرای سازه های زیر زمینی کوچک و متوسط بدلیل نیاز به تجهیزات خاص حفاری و محوددیت های عملکرد ماشین آلات در این گونه سازه ها .

۳- ایجاد جداشدگی بین کارگاه زیر زمینی با تجهیزات و تاسیسات روزمینی و بالطبع ایجاد محدودیت های دسترسی بدلیل استفاده از بازشو های موق .

۴- لزوم دقت در مرحله طراحی و اجرای سازه زیرزمینی در مواردی از قبیل ارتفاع طبقات، موقعیت و فواصل ستون ها و دیوارها به منظور ایجاد فضای لازم جهت جلوگیری از اختلال در عملکرد ماشین آلات .

۵- کندی عملیات حفاری در تراز زیر سقف ها بدلیل جبهه های کاری محدود برای عملکرد ماشین آلات و بالطبع افزایش هزینه های خاکبرداری و انتقال خاک .

۶- لزوم افزایش عمق و ابعاد ستون ها میانی بمنظور تامین باربری لازم در زمان ساخت و بالطبع افزایش هزینه های اجرای در این بخش .

۷- احتمال ایجاد انحراف بیش از حد مجاز در دیوارهای محیطی و ستون های در حین اجرا از سطح زمین

۸- نیاز به برخی ماشین آلات خاص حفاری بمنظور اجرای دیوارهای محیطی و ستون های میانی از سطح زمین

۹- لزوم کاربرد مداوم سیستم تهویه مناسب در طول مدت ساخت بمنظور کنترل گازهای سمی تولید شده توسط ماشین آلات و گرد و غبار حاصل از عملیات گودبرداری در تراز های زیر سقف .

۱۰- نیاز مداوم به سیستم های روشنایی در تمام مدت اجرای عملیات در شیفت های روز و شب .
۱۱- پیش بینی تمهیدات لازم بمنظور امکان بالا کشیدن ماشین آلات حفاری از طریق بازشوهای تعبیه شده در سقف طبقات .

- **پروژه قطار شهری اهواز**

۵- کاربرد روش Top-Down در خط یک پروژه قطارشهری اهواز

با توجه به طرح مسیر خط بک پروژه، ابعاد هر ایستگاه در حدود ۲۳X ۱۱۷متر و عمق اجرا در حدود ۱۷ متر از سطح زمین تعیین گردید. ترتیب و روش ساخت سازه حفظت گود ایستگاه ها در پروژه قطار شهری اهواز با استناد مطالعات زمین شناسی و بررسی نتایج حاصل از گمانه های حفر شده توسط شرکت مشاور در محل اجرای هر ایستگاه ، وضعیت زمین محل اجرای ایستگاه ها ، تراز آب های زیر زمینی و تجهیزات در دسترس و مورد نیاز در ابتدای پروژه تعیین گردید که عمده روش ها عبارتند از : استفاده از سیستم دیوار های شمعی درجا و دیوار دیافراگمی که روش اصلی در اجرای دیوار حفاظت گود ایستگاه ها بر اساس روش دیوار دیافراگمی و نوع مهار بندی آن نیز استفاده از استرات ها در نظر گرفته شد که بدلیل وضعیت زمین شناسی بخش جنوبی پروژه که عمدتا بصورت لایه های سیلت و رس بوده و سنگ بستر نیز در اعماق پایین تری قرار دارد . عمق دیوارهای حفاظت گود ایستگاه ها در این بخش و تعداد ردیف های مهاربندی با استراتها بیشتر از ایستگاه های بخش شمالی تعیین گردید. اما نکته قابل توجه این است که وجه مشترک کلیه روش های اجرایی ایستگاه ها ، استفاده از روش ساخت پایین به بالا Bottom – up تعیین گردیده بود . که با توجه به مشکلات اجرایی و شرایط دشوار محیطی از قبیل سستی بیش از حد زمین، تراز آب زیر زمینی بالا و نزدیکی به ساختمان های مجاور ، روش Top-Down Method جایگزین روش ساخت سنتی گردید که از آن جمله می توان به ایستگاه های امام خمینی ، ایستگاه نادری غربی و... اشاره کرد.

۶- روش های اجرا ، ساخت Top-Down Method

۱- حفاظت گود توسط شمع درجا

یکی از روش های متداول در پایدار سازی و حفاظت گودها استفاده از شمع های درجاست که در برخی موارد علاوه بر ایفای نقش حفاظت جانبی تا حدودی نقش آبند را نیز انجام می دهد .

۲- مهار بندی توسط دیوار دیافراگمی

یکی دیگر از روش های محافظت از جداره ه گود ، احداث دیوار دیافراگمی و یا دوغابی می باشد . در این روش ابتدا توسط دستگاه گراپ متناسب با شرایط زمین، حفاری قسمتی از دیوار انجام می شود و همزمان جهت پایداری جداره دیواره حفاری صورت گرفته و جهت جلوگیری از ریزش های موضعی از دوغاب بنتونیت استفاده می شود. تشکیل کیک بنتونیت در داخل دیواره حفاری شده و نفوظ در لایه های دانه ای جداره باعث می گردد جداره همواره پایدار بماند سپس بلافاصله پس از رسیدن به عمق مورد نظر آرماتورگذاری شده و در نهایت بتن ریزی می گردد .

نتیجه و جمع بندی

علی رغم مزایای فراوان روش ارائه شده در این یاداشت در ساخت سازه های زیر زمینی ، متاسفانه تاکنون این روش در کشور ناشناخته مانده و کاربرد زیادی نداشته است که علت اصلی این امر احتمالا فقدان آگاهی لازم از وجود چنین روش اجرایی و عدم آشنایی مدیران و کارشناسان دست اندرکار در ساخت سازه های زیر زمینی در کشورمان از مزایای این روش اجرایی است . در حالیکه وجود پتانسیل طراحی و اجرای این روش در کشور با کاربرد آن برای اولین بار در پروژه قطار شهری اهواز توسط کارشناسان اثبات گردیده است . در این راستا امید است که کلیه دست اندرکاران ساخت و ساز اعم از کارفرمایان، مشاورین و پیمانکارانی که بنحوی با ساخت سازهای زیر زمینی در کشور در ارتباط هستند . با در نظر گرفتن آثار مثبت

استفاده از این روش اجرای و انجام مطالعات دقیق و در نظر گرفتن عواملی از قبیل تاثیرات مهم آن در ایمنی در حین اجرای عملیات و همچنین کاهش چشمگیر زمان مسدود شدن معابر در ساخت و سازهای زیر زمینی در مناطق پر ترافیک شهری و حذف عملیات زمانبر در اجرای پروژه ها، امکان کاربرد این روش را به عنوان یک گزینه مهم اجرایی در طرح های بزرگ خصوصاً در مناطق شهری و زمین های سست در کنار سایر روش های معمول در کشور بیش از پیش مد نظر قرار داده و در صورت تامین نیاز های طرح و امکان اجرای آن، با جایگزینی این روش بجای روش های سنتی و یا استفاده از تلفیق این روش با روش های رایج و ایجاد روش هاب متنوع در ساخت ساز های زیر زمینی، موجبات پیشرفت این تکنولوژی در کشور فراهم آورند .

منابع :

[۱] قویدل اقدم، امید؛ بررسی متدولوژی اجرای سازهای نیمه عمیق و عمیق در خاک های سست به روش Bottom-up و Top-Down با رویکرد ویژه جهت انتخاب گزینه برتر عملیات اجرایی ایستگاه های زیر زمینی پروژه قطار شهری اهواز .

[۲] شرکت کیسون ؛ دستورالعمل ساخت و مهندسی ارزش اجرای ایستگاه های پروژه قطار شهری اهواز به روش Top-down.