مجله نخبگان علوم و مهندسی
Journal of Science and Engineering Elites
جلد ۸- شماره ۵ - سال ۱۴۰۲
www.ElitesJournal.ir

بررسی روشهای پایدارسازی ترانشه های عمیق شهری

جلیل هادی*[۱] ، محمد کشاورز بخشایش[۲]

۱-کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، دانشگاه آزاداسلامی واحد زنجان
۲- استادیارگروه علوم پایه، دانشگاه پیام نور واحد زنجان

*jalilhadi127@yahoo.com

ارسال: آبان ماه ۱۴۰۲ پذیرش: آذر ماه ۱۴۰۲

چکیده

گودبرداریهای عمیق در مناطق شهری و در مواردی همچون سیستم های حمل و نقل عمومی، ایجاد سازههای عظیم و ...کاربرد وسیعی دارند . چنین گودبرداریهایی میتوانند با ایجاد تغییر شکل های نامطلوب در محیط پیرامونی، تاثیرات مخربی بر عملکرد سازه های اطراف داشته باشند . لذا ایجاد سیستم های مختلف حفاظت از گود، به منظور تأمین تکیهگاه جانبی مناسب برای خاک اطراف گود و در نتیجه کنترل تغییر مکان دیواره آن و نشست سطح زمین مجاور امری اجتناب ناپذیر می باشد. سیستم های نگهبان برای حفاظت از گودبرداری های عمیق متنوع اند که از میان آن ها می توان به دیوارهای دیافراگمی، سپرها، شمع های درجا، میخ کوبی و اختلاط عمیق خاک اشاره کرد . در این مقاله مطالعات پژوهشگران و نتایج سایتهای اجرایی مختلف در زمینه عملکرد انواع سازه های نگهبان در گودبرداری های عمیق مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته و سعی شده است با تشریح عملکرد هر روش در حالات مختلف، راهنمایی برای مهندس طراح جهت انتخاب روش مناسب حفاظت از گود، بسته به مشخصات ژئوتکنیکی خاک، عمق گودبرداری، نوع و اهمیت سازههای مجاور محدوده گودبرداری و ملاحظات اقتصادی و زمانی ارائه گردد . در زمینه مقادیر تغییر شکل دیوار و نشست دیوارهای دیافراگمی با صلبیت بالای خود عملکردبهتری داشته وازنظرزمانی واقتصادی روش اختلاط عمیق خاک به عنوان یک روش مناسب تلقی می شود.

واژه های کلیدی: ترانشه های عمیق، نشست، تغییر شکل جانبی، پایدارسازی ترانشه، ملاحظات اقتصادی.

۱- مقدمه

امروزه با رشد سریع جمعیت و توسعه روز افزون شهرها و نیز پیشرفت تکنولوژی نیاز به احداث سازه های عظیم مسکونی، تجاری و اداری و همچنین پروژه های بزرگ زیربنایی از قبیل سدسازی، مترو و .... بیش از پیش احساس می شود. اهمیت بالای چنین سازه هایی از نظر فنی و اقتصادی، بررسی ژئوتکنیکی بسیار دقیق تری را به لحا ظ پایداری، نشست و ظرفیت باربری می طلبد. یکی از اصلی ترین مسائلی که در ساخت این سازه ها با آن مواجه هستیم، نحوه گود برداری و انتخاب سیستم مناسب به جهت حفاظت از دیواره گود می باشد. به عنوان مثال یکی از مسائلی که در گودبرداری در مناطق شهری باید به آن توجه ویژه داشت، مسئله ساختمانهای اطراف و تاثیری است که انجام گودبرداری بر آن ها خواهد داشت. در صورت وجود سازه های حساس در اطراف محل گود، می بایست در انتخاب روش حفاظت از گود به این نکته توجه داشت که مقادیر نشست زمین در اطراف گود از حدود مجاز فراتر نرود تا آسیبی به این سازه ها وارد نیاید. از سوی دیگر با توجه به حجم بالای گودبرداری های صورت گرفته درسطح

کشور وروند روبه رشد آن، اجرای گودبرداری به شیوه صحیح وبا انتخاب روش مناسب با توجه به شرایط ژئوتکنیکی منطقه مسئله ایست که باید توجه ویژه ای به آن داشت، چرا که هرساله به علت گودبرداری های نامناسب وریزش دیواره های گود حوادث ناگوار و غیرقابل جبرانی به وقوع می پیوندد و این مسئله درمورد گودبرداری های عمیق حساسیت بیشتری به خود می گیرد. لذا دراین تحقیق به معرفی برخی از روش های متداول گودبرداری های عمیق دردنیا پرداخته و با بیان نقاط ضعف و قوت هرکدام ازآنها وبررسی عملکردشان به مقایسه آنها می پردازیم. در زمینه بررسی روش های پایدارسازی ترانشه های عمیق شهری ازسال ۲۰۱۰ به بعد، چند جنبه مهم و روندهای مهم وجود دارند که می توانید آنها را درنظر بگیرید:

۱- افزایش استفاده از انرژی های تجدیدپذیر: درسال های اخیر، استفاده از انرژی های تجدیدپذیر برای تأمین انرژی ترانشه های عمیق شهری درحال افزایش است. استفاده از پنل های خورشیدی، توربین های بادی و سایرمنابع تجدیدپذیرمی تواند به کاهش انحراف ازسهم انرژی های فسیلی و کاهش تولید گازهای گلخانه از طریق انتشار دی اکسیدکربن کمک کند.

۲- بهینه سازی و پیشرفت در ساخت وساز: با بهبود فناوری های ساخت وساز، روش های جدیدی برای ساخت ترانشه های عمیق و پایدار معرفی شده است. استفاده از مصالح پایدار، روش های جدید ساخت وساز و استفاده از فناوری هوشمند می تواند به کاهش هزینه ها و بهبود عملکردترانشه های عمیق کمک کند.

۳- استفاده از سیستم های حمل ونقل عمومی: توسعه سیستم های حمل ونقل عمومی وتشویق به استفاده از آنها می تواند به بهبود پایداری ترانشه های عمیق شهری کمک کند. این شامل بازسازی وبهبود ایستگاه های حمل ونقل عمومی، مقررات برای افزایش تردد کامیون وتوسعه سیستم اتوبوسرانی وقطار شهری است.

۴- مدیریت هوشمند ترانشه ها: استفاده از فناوری هوشمند وسیستم های مدیریت ترافیک می تواند به بهبود عملکرد ترانشه های عمیق و کاهش ترافیک کمک کند.

۲- معرفی انواع سیستم های سازه نگهبان

دیوارهای حائل، سازه هایی هستند که به عنوان نگهدارنده های خاک مورد استفاده قرار می گیرند. موارد استفادهٔ دیواره یا در راهسازی، اسکله سازی، مهندسی رودخانه و نظایرآن می باشد. به این ترتیب شناخت رفتار دیوارها در مجاورت محیط های خاکی به لحاظ طراحی بهینه و اقتصادی دیوارها حائز اهمیت می باشد. ازنظرژئوتکنیکی، مقدار و نحوهٔ توزیع فشارهای جانبی خاک که بر دیوار وارد می شوند، باید کاملا" شناسایی شوند. دردیوارهای صلب که تغییر شکل یکنواختی در طول دیوار ایجاد می شود، نحوهٔ توزیع فشار جانبی خاک تا حدی شناخته شده است. سه مود اصلی تغییر مکان دیوار صلب عبارتند از : دوران حول پایه، دوران حول رأس، و جابجایی. توزیع فشارهای جانبی خاک در حالت دوران حول پایه و جابجایی دیوار، نسبت به دوران حول رأس شناخته شده تر می باشند. تغییر مکان واقعی دیوار صلب نیز، ترکیبی از این سه مورد می باشد. اما با افزایش انعطاف پذیری دیوار به خاطر تغییر شکل غیر یکنواخت و غیر خطی دیوار وتغییر شکلهای محیط خاکی مجاور دیوار و به عبارتی اندرکنش خاک – دیوار، الگوی توزیع فشار جانبی خاک پیچیده تر میگردد که طبیعتا" پیش بینی نیروهای وارده به دیوار و بر قراری تعادل در سیستم و در نتیجه تخمین ارتفاع پایداری دیوار، لنگر حدا ک ثر و جابجایی دیوار را مشکل می سازد. دیوارهای با انعطاف پذیری بیشتر غالبا" لنگرهای خمشی کمتر در اجز ای سازه ای خود دارند ، اما تغییر شکلهای بزرگتری را (بویژه در دیوارهای طره ای بدون مهار) تحمل می کنند.

۲-۱- دیوارهای دیافرا گمی[1]

دیوار های دیافراگمی یا دوغ ابی دسته ای از دیوار های حائل از جنس بتن مسلح هستند که با حفر ترانشه های عمیق ساخته می شوند.

[1] Diaphragm Walls

- **بیشترین موارد کاربرد:**

۱- ساخت تونل، ایستگاه های مترو و پارکینگهای طبقاتی زیرزمینی.

۲- ساخت یک لایه ناتراوا و آب بندی هسته سد های خاکی.

۳- مکان هایی که در آنها نیاز به یک سیستم نگهدارنده بسیار صلب وجوددارد.

- **مزایا:**

۱- صلبیت بسیار بالا نسبت به سایر روش ها و در نتیجه تغییر مکانهای کوچک تر

۲- قابل استفاده به عنوان سازه نگهبان دائمی

۳- قابلیت استفاده به عنوان یک المان سازه ای

۴- مناسب برای حفاری های با طول زیاد نظیر ایستگاه های مترو

۵- سرعت و درجه ایمنی بالا

- **معایب:**

۱- در پروژه های کوچک از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست.

۲- دستگاه های حفار این گونه دیوار ها نیاز به فضای کار زیادی داشته در نتیجه استفاده از این روش در مناطق شهری با محدودیت همراه است[۱].

شکل ۱- مراحل ساخت دیوار دیافراگمی

۲-۲- دیوارهای سپری[1]

سپرها از ورقه های نازک فلزی ، چوبی و یا بتنی بوده که عمدتا به عنوان حائل قبل از هرگونه اقدام مربوط به خاکبرداری و خاکریزی توسط چکش پنوماتیک و با استفاده از لرزش کوبیده می شوند و با انواع اتصالات بین خود به یکدیگر متصل شده و یک جداره پیوسته را تشکیل می دهند. لازم به ذکر است از آنجایی که این روش بیشتر در مناطق ساحلی کاربرد دارد اگر سطح آب زیرزمینی بالاتر از کف سپر بود، فشار هیدرواستاتیک مربوط در طراحی منظور می شود[۲].

- **بیشترین موارد کاربرد:**

۱- ایجاد دیوار های حائل موقت در کارهای دریایی و دیوار سازی های کنار ساحل

- **مزایا:**

۱- راحتی در کوبیدن، نصب و بیرون کشیدن آنها، به نحویکه مصالح آن مجددا قابل استفاده در پروژه های دیگر می باشد.

۲- دیوارهای سپری نسبت به سایر روشها فضای کمتری را اشغال می کنند.

۳- به دلیل انعطاف پذیر بودن این نوع دیوارها و پدیده بازپخش لنگرها عمدتا رفتار لرزه ای مناسبی دارند.

- **معایب:**

۱- تحمل تغییر شکل های بزرگ پس از گودبرداری

۲- ایجاد سر و صدا و لرزش فراوان ناشی از کوبیدن سپرها

۳- بلا استفاده بودن این روش در زمین های سنگی و یا خاکی بسیار متراکم

[1] Sheet Pile walls

شکل ۲ نمونه ای از یک دیوار سپری اجرا شده در خاک دانه ای را نشان می دهد.

شکل۲ - اجرای سپرفلزی درخاک دانه ای

۲-۳-دیوارهای میخکوبی شده [1] (Soil Nail Walls)

میخکوبی خاک شامل تسلیح و مقاوم نمودن آن در محل، با نصب میلگردهای فولادی نزدیک به هم در داخل یک شیب، یا گودبرداری همزمان با ساخت از بالا به پائین و محدود نمودن تغییر مکانها می باشد. این روش می تواند در پایدارسازی موقت و یا دائمی ترانشه ها و گودها در زمین های خاکی و همچنین موارد شبه خاکی نظیر سن گ های نرم و سنگ های خرد شده کاربرد داشته باشد [۳-۴].

- **بیشترین موارد کاربرد:**

۱- حفاری های موقت یا دائمی در محدوده های شهری

۲- تعریض جاده های قرار گرفته در زیر پایه پل ها

۳-کوه بری به هنگام جاده سا زی

۴- تعمیر و بازسازی سیستم های نگه دارنده قدیمی

- **مزایا:**

۱- استفاده از این روش سبب افزایش مقاومت برشی توده خاک می شود

۲- با اجرای این روش از خصوصیتهای مقاومتی خود خاک برای مهار نیروی رانشی استفاده می شود

۳- در محدوده وسیعی از انواع خاک ها قابلیت کاربرد دارد

- **معایب:**

۱- بدلیل اینکه میخ ها در خارج از محل گودبرداری تا مترها امتداد می یابند لذا استفاده از این روش در مناطق شهری بامشکلاتی همراه است و نیاز به اخذ مجوز های لازم دارد.

۲- استفاده از این روش در خاک های خشک و بدون چسبندگی، خاک های داری تخته سن گ و قلوه سنگ، خاک های ریزدانه نرم تا خیلی نرم و خاک های آلی توصیه نمی شود.

۳- در مواردی که سطح آب زیرزمینی بالاست نیاز به تخلیه و پمپاژ آب داخل گود داریم.

[1] Soil Nail Walls

۲-۴- شمع های در جا [1]

یکی از روش های متداول در پایداری و حفاظت جداره ها با شرایط مختلف اعم از زمین های سخت، سست و یا نرم، استفاده از شمع های درجا می باشد و در برخی از موارد علاوه بر ایفای نقش حفاظت جانبی نقش آب بندی را نیز انجام می دهد و همواره در صورت نیاز بار قائم نیز تحمل می کند.

- **بیشترین موارد کاربرد:**

۱- در مواقعی که امکان استفاده از سیستم حفاظت گود به عنوان المانی سازه ای و باربر مد نظر باشد.

۲- در شرایطی که بدلیل بالا بودن سطح آب های زیرزمینی نیاز به آب بند نمودن جداره باشد.

- **مزایا:**

۱- سرعت اجرای کار در این روش بسیار بالاست.

۲- شمع ها می توانند به عنوان المانی سازه ای در سازه اصلی به کار روند.

۳- مناسب جهت استفاده در محیط های شهری بدلیل سروصدای کمتر نسبت به برخی روش ها مثل سپر کوبی

- **معایب:**

۱- استفاده از این روش به تنهایی (بدون مهار) در گودبرداری های با عمق بیش از ۵ متر توصیه نمی شود[۵]، زیرا باعث افزایش چشمگیر هزینه ها خواهد شد.

۲- عدم امکان کنترل کیفیت بتن خصوصا هنگامی که سطح آب زیرزمینی بالا باشد.

شکل ۳ نمونه ای از شمع های درجا به صورت پیوسته را نشان می د هد.

شکل۳- شمع های درجا به صورت پیوسته(آب بند)

۲-۵-روش اختلاط عمیق خاک [2]

عبارت اختلاط خاک در عمق به روشی اطلاق می گردد که در آن مواد پایدارکنندهای نظیر سیمان یا آهک با استفاده از یک حفار با محور توخالی بصورت مکانیکی با خاک مخلوط می شود. فرآیند اختلاط خاک موجب تولید ستون یکنواختی (با پهنای ثابت) از خاک و ماده افزودنی می گردد. با همپوشانی ستونها قبل از گیرش کامل، دیوار های پیوستهای زیر سطح زمین قابل احداث می باشد[۶].

- **بیشترین موارد کاربرد:**

۱- تقویت پی در زیر سازه های اجرا شده

۲- کاهش پتانسیل روانگرایی خاک

۳- دیوار آب بند

[1] Bored Pile Walls
[2] Deep Soil Mixing

۴- پایدارسازی تونل

- **مزایا:**

۱- افزایش مقاومت برشی و کاهش نفو ذپذیری خاک

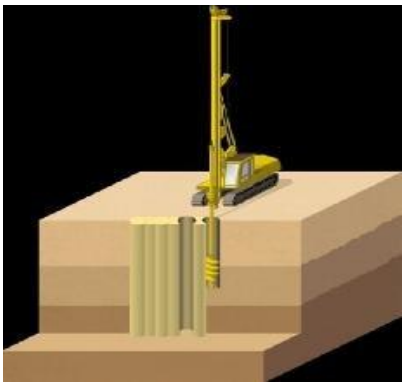
۲- زمین بخشی از سیستم خاک – سازه می گردد.

۳-کاهش نشست خاک بر اثر سربار

۴- هزینه اجرای این روش بسیار کمتر از موارد مشابه است

- **معایب:**

۱- دستگاه های حفار این گونه دیوار ها (او گر) نیاز به ف ضای کار زیادی داشته در نتیجه استفاده از این روش در مناطق شهری با محدودیت همراه است. شکل ۴ نمونه ای از گود پایدار شده با روش اختلاط عمیق را نشان می دهد.

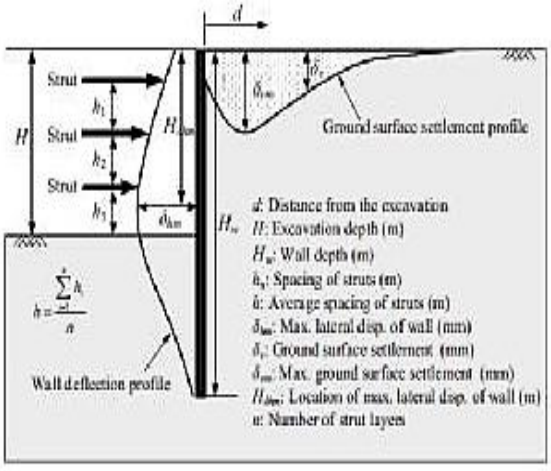


شکل ۴-کاربرد روش اختلاط عمیق خاک در پایدارسازی دیواره گود

۳- مقایسه

۳-۱- دیدگاه تغییر شکل و نشست

و نگ و همکاران او در سال ۲۰۱۰ به مطالعه و بررسی بیش از ۳۰۰ مورد حفاری با روش های مختلف در شانگهای چین پرداختند و آن را با سایر موارد مشابه در دیگر نقاط جهان مقایسه کردند. آن ها مقادیر تغییر شکل های افقی ناشی ازگودبرداری در انواع مختلف سازه های نگهبان و همچنین نشست های ایجاد شده در سطح زمین اطراف سازه نگهبان را به تف ضیل مورد بررسی قرار دادند. همچنین روش های ساخت سازه و نصب مهارها در مطالعات آن ها منظور شد بدین معنی که با توجه به روش ساخت (ساخت سازه یا مهار گذاری از بالا به پائین "Top-Down Method" و یا از پائین به بالا "Bottom- up Method") شکل ۵ پارامترهای مربوطه را به طور شماتیک نشان می دهد.

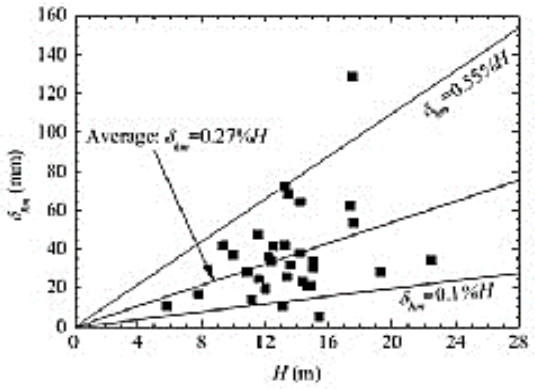


شکل۵- پارامترهای موردنیاز [۷]

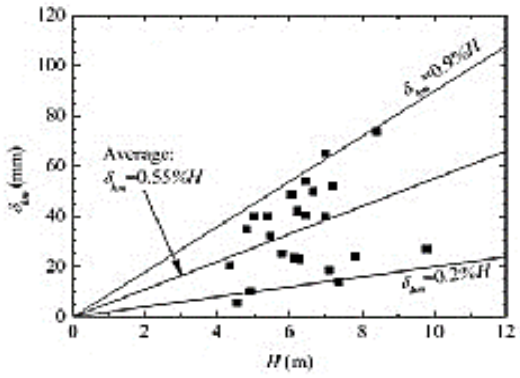
لازم به ذکر است که در انواع روش ها استفاده از دو نوع مهار رایج است:

الف) مهارهای بتنی (Concrete Struts) که می توانند همان دیافراگم سقف در سازه ای باشند که در داخل گود ساخته خواهد شد. این نوع مهار ها در دیوارهای دیافراگمی و شمع ها رایج است و دیوار را به عنوان المانی سازه ای به کار خوا هد گرفت.

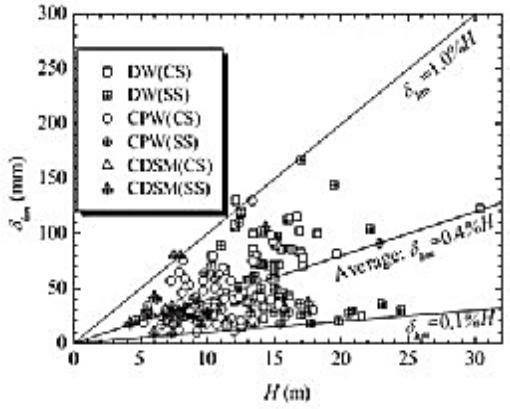
ب) مهارهای فولادی (Steel Struts) استفاده از مهار های فولادی بیشتر در سپرهای فلزی رایج است.



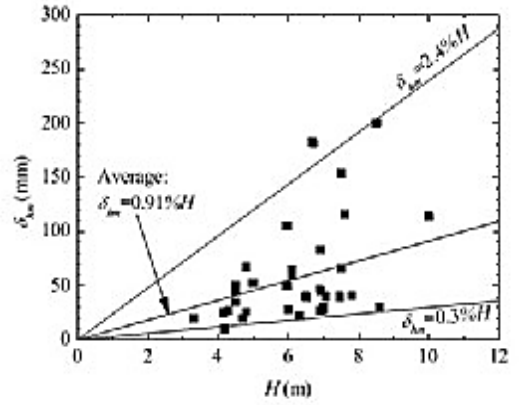
الف) دیواردیافراگمی(Top-Down)



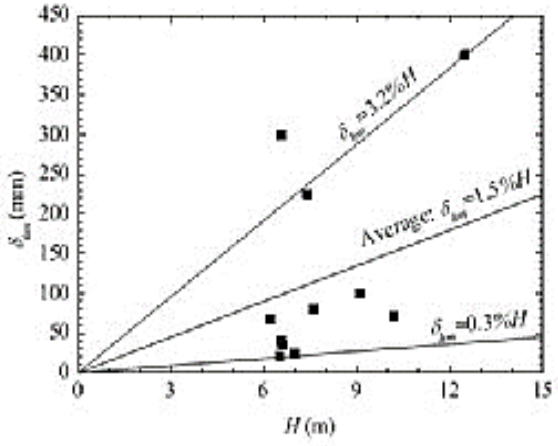
ج) دیوارمیخکوبی شده



د) اختلاط عمیق(بدون مهار)



ب) دیواردیافراگمی،شمع های درجا،اختلاط عمیق(Bottom-up)



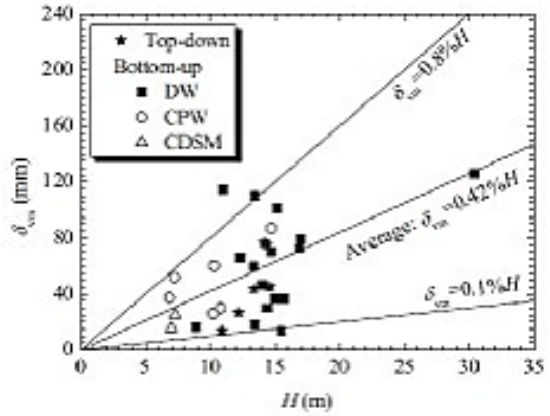
ه)دیوارسپری

شکل ۶- رابطه بین ماکزیمم تغییر مکان افقی دیو ار(δ_{hm}) را با عمق گودبرداری (H) برای انواع مختلف سیستم های سازه نگهبان[۷]

✓ شکل ۶ - الف رابطه بین δ_{hm} و H در دیوارهای دیافراگمی ساخته شده با روش از بالا به پائین (Top_Down Method) را نمایش می دهد. در این نوع دیوار ها مقادیر تغییرمکانهای افقی دیوار در بازه H ٪ 1.0و H ٪55.0 با میانگین H ٪27.0 قرار گرفتند.

- ✓ شکل۶ –ب رابطه بین δ_{hm} و H در دیوارهای دیافراگمی، شمع ها و دیوارهای احداث شده با روش اختلاط عمیق خاک، ساخته شده با روش از پائین به بالا (Bottom_Up Method) و نیز انواع مهارهای فلزی یا بتن آرمه را بصورت همزمان نمایش می دهد. در این نوع دیوار ها مقادیر تغییر مکانهای افقی دیوار در بازه H ٪ 1.0و H ٪0.1 با میانگین H ٪4.0 قرارگرفتند.
- ✓ شکل۶- ج رابطه بین δ_{hm} و H در دیوارهای ساخته شده با میخ کوبی (Soil Nailing) را نمایش می دهد. در این نوع دیواره یا مقادیر تغییر مکانهای افقی دیوار در بازه H ٪ 2.0و H ٪9.0 با میانگین H ٪ 55.0 قرار گرفتند.
- ✓ شکل۶- د رابطه بین δ_{hm} و H در دیوارهای ساخته شده با روش اختلاط عمیق خاک بدون مهار را نمایش می دهد. در این نوع دیوار ها مقادیر تغییر مکانهای افقی دیوار در بازه H ٪ 3.0و H ٪ 4.2با میانگین H ٪91.0 قرار گرفتند.
- ✓ شکل۶ –ه رابطه بین δ_{hm} و Hدر دیوارهای سپری را نمایش می دهد. در این نوع دیوار ها مقادیر تغییر مکانهای افقی دیوار در بازه در بازه H ٪ 3.0و H ٪2.3 با میانگین H ٪5.1 قرار گرفتند.

همچنین رابطه بین ماکزیمم نشست سطح زمین اطراف دیوار (δ_{vm}) با عمق حفاری (H) نیز با توجه به نوع دیوار و سیستم مهاربندی در شکل ۷ ارائه شده است .



شکل۷- رابطه بین ماکزیمم نشست سطح زمین اطراف دیوار با عمق حفاری [۷]

در جدول ۱ رابطه بین ماکزیمم تغییر مکان افقی دیوار و ماکزیمم نشست سطح زمین در اطراف دیوار با عمق گودبرداری برای برخی سیستم های دیوار دیافراگمی، شمع ها و سپرها بر اساس ارائه شده است[۸]. همانطور که مشاهده می شود مقادیر ارائه شده در جدول با مقادیر شکل های ۶ و ۷ مشابه بوده و هم خوانی دارد. لازم به ذکر است که در دیوارهای دیافراگمی ، شمع ها و دیوارهای اختلاط عمیق با مهار به علت وجود مهار غالبا ماکزیمم تغییر مکان افقی دیوار در عمق 0.5H تا 1.5H رخداده اما در دیوارهای میخکوبی شده و دیوارهای اختلاط عمیق بدون مهار ماکزیمم تغییر مکان افقی در بالای دیوار اتفاق افتاده است.

جد ول۱- رابطه بین ماکزیمم تغییر مکان افقی دیو ار (δ_{hm}) را با عمق گودبر داری(H) برای انواع مختلف سیستم های سازه نگهبان

NO	Location	H(m)	Wall Type	(mm) δ hm	(mm) δ vm	δ hm /H	δ vm /H	Reference
1	Berlin P Platz DB	18	Diaphragm	42	10	0.23%	0.05%	Triantafyllidis et al. (1997)
2	New Palace Yard	18.5	Diaphragm	30	20	0.16%	0.11%	Burland and Hancock (1977)
3	Pudian road [9]	20.4	Diaphragm	79	60	0.39%	0.3%	Zhong W et al. (2005)
4	PO Square Boston	23.4	Diaphragm	52	45	0.22%	0.19%	Whittle et al. (1993)
5	HK&S Bank, HK	16	Diaphragm	48	25	0.30%	0.15%	Humpheson et al. (1986)

6	Britannic Hse	14	Diaphragm	60	34	0.42%	0.24%	Cole and Burland (1972)
7	Berlin	12.3	Secant pile	27	…..	0.22%	…..	Weibenbach and Gollub (1995)
8	Houston-Texas	16	Contiguous pile	30	…..	0.19%	…..	Ulrich (1989b)
9	Offenbach	19.3	Secant pile	44	23	0.23%	0.12%	Krajewski et al. (1997
10	Walthamstow	7.9	Secant pile	18	20	0.23%	0.25%	Watson and Carder (1994)
11	Victoria Emb	18	Secant pile	34	28	0.19%	0.15%	St. John et al. (1992)
12	Seattle	23.8	Sheet pile	114	…..	0.48%	…..	Peck (1969)
13	Paris-R Gau	12.3	Sheet pile	55	…..	0.45%	…..	Gignan (1984)
14	Singapore CBD	14.7	Sheet pile	280	100	1.90%	0.68%	Broms et al. (1986)
15	Singapore CBD	15	Sheet pile	145	100	0.97%	0.66%	Broms et al. (1986)

۳-۲-دیدگاه زمان و هزینه های اجرا یی

در روش اختلاط عمیق خاک به این دلیل که از طرفی مراحل حفاری و اجرای حائل به طور همزمان انجام می شود و هزینه هایی از قبیل مسلح کردن بتن حذف می شود) مانند دیوارهای دیافراگمی و شمع های بتن مسلح (و از طرف دیگر نیازی به عملیات خاکبرداری و حمل و دپوی آن برای اجرای سازه دیوار وجود ندارد می توان گفت یکی از سریع ترین و ارزان ترین روش های نوین گودبرداری عمیق می باشد، اما متأسفانه تا امروز که تقریبا ۴۰ سال از آغاز بکارگیری این روش می گذرد، به دلیل نبود تکنولوژی لازم جهت اجرا، تنها در مواردی اندک از این روش در ایران استفاده شده است. با توجه به اینکه کشور ایران دارای زمینهای ساحلی بسیاری در شمال و جنوب است و این زمینها مستعد استفاده از این روش جهت بهسا زیمیباشند، اهمیت لزو م استفاده از این روش بیش از پیش روشن می گردد. به ویژه اینکه در کشور ما به علت لرزهخیزی زیا دامکان وقوع پدیده روانگرایی در این مناطق وجود دارد، استفاده از این روش باعث کاهش پتانسیل روانگرایی و جلوگیری از بروز مشکلات آن می شود[۶].

همچنین در مورد دیوارهای سپری نیز هزینه های خاکبرداری و حمل و دپوی آن برای اجرای سازه دیوار حذف می شود و بدون نیاز به وجود دستگاه های حفار صرفا سپرها در داخل خاک کوبیده می شوند که البته نیاز به تکنسین متخص ص و آموزش دیده دارد، از دیدگاه زمانی نیز نسبت به دلیل سرعت اجرای بالای آن جزو سریع ترین روش ها محسوب می شود که ازنقاط قوت این روش است. اولی پور و همکاران در سال ۱۳۹۰ به بررسی و مقایسه زمان خالص کاری لاز م برای اجرای گودبرداری با چندین روش در دو ایستگاه باعمق های متفاوت از قطار شهری اهواز پرداختند که نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- زمان خالص کاری مربوط به روش های مختلف حفاظت از گود در دو ایستگاه قطار شهری اهواز [۱]

روش حفاظت از گو د	ایستگاه اول		ایستگاه دو م	
روش حفاظت از گو د	گود ۱۰ متری	گود ۱۶ متری	گود ۱۰ متری	گود ۱۶ متری
دیوار دیافراگمی	77	110	77	110
شمع درجا	64	90	64	90
نیلینگ	154	307	154	307

آنها همچنین براساس فهرست بهای سا ل ۱۳۸۷هزینه های نهایی اجرای هر یک از روش ها را محاسبه کردند که نتایج آن در جدول ۳ قابل مشاهده است.

جدول ۳- هزینه های مربوط به روش های مختلف حفاظت از گود در دو ایستگاه قطار شهری اهواز [۱]

روش حفاظت از گو د	ایستگاه اول		ایستگاه دو م	
روش حفاظت از گو د	گود ۱۰ متری	گود ۱۶ متر ی	گود ۱۰ متری	گود ۱۶ متر ی
دیوار دیافرا گمی	10691941190	18571989372	10691941190	25952761313
شمع در جا	10961153168	18434673863	10961153163	20711642956
نیلینگ	9291872606	23280984843	8077731341	23280984483

۴- نتیجه گیری

با توجه به مطالب ذکر شده در خصوص تغییر شکل ها، نشست های زمین اطراف گود، زمان اجرای کار و همچنین هزینه های نهایی روش های مختلف نتایج زیر حاصل می شود:

۱- روش اختلاط عمیق خاک روشی بسیار سریع و اقتصادی است و اگر به صورت مهار شده اجرا شود (شکل - ۶ ب) مقادیرتغییر شکل های آن نیز به شدت کاهش می یابد، اما در صورت اجرا به صورت طره ای مقادیر تغییر مکان آن در بازه H% 0.3و H%2.4 قرار می گیرد که کاربرد آن را برای پروژه هایی که سازه های حساس در اطراف آن وجود دارد با محدودیت هایی مواجه می کند.

۲- سپرها سازه های انعطاف پذیری بوده و پس از اجرای گود مقادیر تغییر شکل های زیادی را متحمل می شوند اما از نقطه نظر زمان و هزینه های اجرا روشی سریع و نسبتا اقتصادی به شمار می روند، لذا کاربرد آنها در پروژه هایی که مقادیر تغییر مکان ها ونشست های اطراف گود حساسیت چندانی ندارد توجیه پذیر است.

۳- دیوار های میخ کوبی شده (نیلینگ) نسبت به دیوارهای دیافراگمی و شمع ها پس از اجرا تغییر شکل های نسبتا بیشتری را تجربه می کنند، از طرفی با افزایش عمق گودبرداری هزینه های اجرای کار به طور تصاعدی افزایش می یابد و به علت مرحله ای بودن خاکبرداری و سپس اجرای دیوار زمان زیادی را به پروژه تحمیل می کنند. اما از با توجه به اینکه حفاری این نوع دیوارها برخلاف دیوارهای دیافراگمی و شمع ها نیاز به فضای کاری زیادی ندارد که این مسئله باعث گسترش روز افزون استفاده ازاین روش درکلان شهرهای چون مشهد و تهران شده ا ست.

۴- در هر دو روش دیوارهای دیافراگمی و شمع های درجا مقادیر تغییر مکان ها و نشست های زمین اطراف گود نسبت به سایرروش ها به طور قابل ملاحظه ای کمتر است لیکن به علت صلبیت بالاتر دیوارهای دیافراگمی این نوع دیوارها عموما تغییرشکل های کمتری از خود نشان می دهند. اما از نقطه نظر زمان و هزینه های اجرایی به این دلیل که دسترسی به ماشین آلات حفاری دیوارهای دیافراگمی در ایران کمتر از ماشین آلات حفاری شمع است می توان گفت روش اجرای شمع اندکی سریع تر و مقرون به صرفه تر از دیوارهای دیافراگمی خواهد بود، لیکن تمامی موارد گفته شده بسته به نوع پروژه می تواند متغیر باشد و بررسی و مطالعات دقیق با توجه به شرایط پروژه، نوع خاک، سطح آب های زیر زمینی، حساسیت سازه های اطراف و ... را می طلبد.

۵- مراجع

۱. گلپذیر، ا . بررسی اثر پارامترهای مختلف بر رفتار دیوارهای دیافراگمی طره ای با استفاده از روش های تعادل حدی و المان محدود، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۳۸۹.

۲. اسلامی، ا . مهندسی پی طراحی و اجرا، چاپ چهارم، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ۱۳۹۰.

۳. اژدری شبستری، ا . دیوارهای میخکوبی شده، انتشارات جهاد دانشگاهی امیرکبیر ۱۳۸۹.

4. FHWA. Geotechnical engineering circular NO.7-Soil Nail Walls: Federal Highway Administration ;2003

۵. محمودی ، م .، برخورداری،ک .، وفائیان ،م .بررسی روشهای متداول پایدارسازی گودبرداری ها در مناطق شهری. پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران،1387.

6. http://www.omranista.com

7. Wang H, Xu H, Wang W. Wall and ground movements due too deep excavation in shanghai soft soils. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, ASCE; :631 985-994, 2010

8. Long M. Database for retaining wall and ground movements due to deep excavations. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, ASCE; 127:203-224, 2001.

9. Zhong W, Charles W, Guo B. Characteristics of wall deflections and ground surface settlements in Shanghai.Can. Geotech. J.42; 1243–1254 , 2005

۱۰. اولی پور، م . ، سلیقه زاده، ع، . برجویی، ا، . انتخاب بهترین روش جهت حفاظت از گود در گودبرداری های حجیم در شهر اهواز . ششمین کنگره ملی مهندسی عمران ۱۳۹۰.