

## پایدارسازی جداره‌های گودبرداری عمیق به روش میخ‌کوبی در مناطق شهری<sup>۱</sup>\*

مهندس عزت الله تقی زاده قهی\*\*

عضو هیئت علمی دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۸۷/۲/۲۰، تاریخ پذیرش نهایی: ۸۷/۵/۵)

### چکیده:

با افزایش تراکم در عرصه‌های محدود و در نواحی پرتراکم شهری، تعداد طبقات زیرزمین و عمق گودبرداری افزایش می‌یابد. برای طراحی پایدار جداره‌های گودبرداری باید این اطمینان وجود داشته باشد که یک ضریب ایمنی کافی برای مدت عمر سازه‌های پایدار کننده وجود دارد. روش مناسب گودبرداری با توجه به شرایط و جنس خاک، سطح آب زیرزمینی، عمق و ابعاد گودبرداری، موقعیت و نحوه قرارگیری محل گود، موقعیت و شرایط مجاورین، لرزه‌خیزی منطقه، الزامات قانونی ساختگاه، اصل تامین ایمنی کامل مجاورین و بخصوص انسان‌ها، هزینه‌های پایدارسازی، هزینه‌های ناشی از گسیختگی و یا تغییر شکل جداره‌های گودبرداری و مشکلات و محدودیت‌های اجرایی انتخاب می‌گردد. روش میخ‌کوبی دارای مزیت‌های نسبی قابل توجهی می‌باشد. این روش از نظر سرعت اجرا، هزینه قابل قبول، انطباق سریع و آسان با شرایط سایت‌های مختلف، عدم نیاز به ماشین‌آلات سنگین، اجرای سریع و مطمئن عایق رطوبتی و عدم تداخل سازه‌نگهبان با عملیات اصلی ساختمان از مناسب‌ترین روش‌های پایدارسازی جداره‌های گودبرداری می‌باشد. محدودیت‌های این روش به دلیل وارد شدن به محدوده مالکیت مجاورین محل گودبرداری، امکان ایجاد تغییر مکان‌های افقی و عمودی در دیواره‌های خاک میخ‌کوبی شده و در زمین مجاور گود و احتمال ترک در ساختمان‌های مجاور گود می‌باشد.

### واژه‌های کلیدی:

ریسک، ضریب ایمنی، پایدارسازی، گودبرداری عمیق، الزامات قانونی، میخ‌کوبی.

\* با توجه به توسعه روز افزون این روش در فرانسه و قابلیت‌ها و محدودیت‌های آن، یک برنامه تحقیقات چهارساله که "CLOUTERRE" نامیده شد توسط وزارت حمل و نقل فرانسه ترتیب داده شد و نتایج آن در سال ۱۹۹۱ تحت عنوان "Soil Nailing Recommendation" منتشر گردید.

\*\* تلفن: ۰۲۱-۶۱۱۳۴۷۹، نمابر: ۰۲۱-۶۶۴۶۱۵۰۴، E-mail: Taghizad@ut.ac.ir

## مقدمه

نمی تواند در ملک خود تصرفی نماید که مستلزم تضرر به همسایه شود.

روش های پایدار سازی دیواره های گود با توجه به شرایط و جنس خاک، عمق گودبرداری، ابعاد گود، سطح آب زیرزمینی، موقعیت و نحوه قرارگیری محل گود، لرزه خیزی منطقه، نحوه کنترل و نظارت سازمان های مسئول، پوشش های بیمه ای و از همه مهم تر تفکر و نگرش دست اندر کاران امر ساختمان به حقوق و سلامت دیگران و ریسک پذیری آنها انتخاب می گردد. پایدار سازی دیواره های گودبرداری به روش میخ کوبی<sup>۱</sup> که در سال های اخیر در تهران و برخی دیگر از شهرهای بزرگ ایران برای پایدار سازی جداره های گودبرداری های عمیق بکار گرفته شده، یکی از روش های پایدار سازی است که به سرعت رو به افزایش است. این روش برای اولین بار در سال ۱۹۷۳ در کشور فرانسه بکار گرفته شد.

گسترش روز افزون شهرها و بخصوص شهرهای بزرگ و نیاز به فضاهای کار و سکونت از یک طرف و افزایش شدید قیمت زمین در این شهرها و ضرورت حداکثر استفاده از زمین از طرف دیگر باعث گردیده است که احداث ساختمان های مرتفع اداری، تجاری و مسکونی با طبقات متعدد زیرزمین به سرعت توسعه یابد. بنابراین با افزایش عمق گودبرداری، خطرات ناپایداری و گسیختگی دیوارهای گودبرداری به شدت افزایش می یابد. در مبحث ۷ (پی و پی سازی) و ۱۲ (ایمنی و حفاظت کار در حین اجرا) مقررات ملی ساختمان بر حفاظت و صیانت از جان و مال کسانی که به نحوی در معرض خطرهای ناشی از گودبرداری های ساختمانی قرار می گیرند تأکید گردیده است.

گودهایی که در مجاورت بناهای موجود ایجاد می شوند نباید به هیچ عنوان پایداری این بناها را چه در مرحله اجرا و چه در مرحله بهره برداری دچار نقصان نمایند. در قانون مدنی نیز کسی

## مبانی نظری

متر مربع فضاهای خدماتی تأمین گردد. در صورتی که در سایت پلان طرح های مربوطه قسمت عمده فضاهای خدماتی مورد نیاز پیش بینی گردد، طبقات زیر زمین به چند طبقه محدود می گردد، در غیر این صورت و بخصوص در نواحی شهری پر تراکم که شکل ساختمان تا حد زیادی متأثر از اندازه زمین و مقررات منطقه بندی است، تعداد طبقات زیرزمین به شدت افزایش می یابد. بدیهی است بلند مرتبه سازی در هر قطعه تفکیکی علاوه بر لزوم رعایت مبانی مثل، مبادی ورود و خروج به قطعه، مباحث مربوط به آتش سوزی و دیگر مباحث مرتبط به خود قطعه، در درجه ای بسیار برتر با ارتباط قطعه به قطعات و معابر مجاور مرتبط خواهد بود (مشهودی، ۱۳۷۶، ۱۸۴). تصمیم گیری در خصوص افزایش تراکم زمانی اتخاذ می گردد که مطالعات ژئوتکنیک لازم در خصوص مسائل مربوط به عارضه های خاص خاک، سفره آب های زیرزمینی، زه کشی، ظرفیت باربری خاک و به طور کلی مسائل و مشکلات اجرایی مربوط به پایداری جداره های گودبرداری عمیق به عمل نیامده است. پس از افزایش تراکم و ایجاد امتیاز و حق، تلاش می شود به هر شکل ممکن از حقوق برقرار شده استفاده شود. آزادی ساخت و ساز و ارتفاع گیری هر قطعه، آزادی ساخت و ساز و گودبرداری عمیق را به دنبال دارد. با افزایش عمق گودبرداری، خطرات ناپایداری و گسیختگی جداره های گودبرداری، هزینه های پایدار سازی جداره های

تراکم بالای شهری در عرصه های محدود، اجازه ایجاد پارکینگ و سایر فضاهای خدماتی هم سطح با زمین را نمی دهد و مستلزم گودبرداری های عمیق و احداث پارکینگ های چند طبقه است. در اثر گودبرداری های عمیق در این عرصه ها، ایمنی عمومی به خطر افتاده و شاهد گسیختگی جداره های گودبرداری و بروز خسارت های مالی و جانی به کارگران، مجاورین، عابری و همچنین محدودیت های ترددی در گذرهای مجاور گود می باشیم، که ریشه آن در افزایش تراکم در عرصه های محدود بدون توجه به حجم پارکینگ و سایر فضاهای خدماتی مورد نیاز و چگونگی تأمین آن و همچنین عدم آشنایی کافی طراح و مجری از محدودیت های فنی و حقوقی روش های مختلف گودبرداری و پایدار سازی دیواره های آن می باشد.

## الف- افزایش تراکم، بلند مرتبه سازی<sup>۲</sup> و گودبرداری عمیق

تراکم به فضاهای مفید و یا در اشتغال واحدها در طبقات می پردازد، در صورتی که فضاهای خدماتی مورد نیاز واحدها شامل لابی، پارکینگ، انباری، تأسیسات، ورزشی، اجتماعات و ... نیز بایستی مد نظر قرار گرفته و در همکف و زیرزمین ها تأمین شود. بررسی های به عمل آمده نشان می دهد که به ازای هر ۱۰۰ متر مربع فضای در اشتغال واحدها در طبقات باید حدود ۷۰ - ۵۰

است، باید برداشته شود. درگود برداری ها برای محاسبه ریسک، اولاً باید از دانش و راهنمایی‌های افراد خبره و با تجربه استفاده کنیم تا بتوانیم محدوده راه حل‌ها را تخمین بزنیم، ثانیاً باید در تصمیم‌گیری محدوده ایمنی و یا درجه ریسک در ملاحظات و فاکتورهای اقتصادی، و میزانی که در اثر گسیختگی از دست می‌دهیم را تعیین کنیم (Puller, 2003, 7). در محاسبه ریسک تفاوت‌های اقتصادی و عملکرد سازه موقت و دائم نیز باید مد نظر قرار بگیرد. در مبحث ۱۲ مقررات ملی ساختمان، سازه موقت، سازه ای است که برای تجهیز کارگاه و در جهت اجرای عملیات اصلی و حفاظتی به صورت موقت اجرا می‌شود. کلمه موقت معمولاً باعث اشتباه می‌شود، در بسیاری از کارها اندازه‌گیری مقاومت و دوام پایدارکننده خاک<sup>۵</sup> و کنترل آب زیر زمینی نیاز به مقاومت کافی و همچنین دوام کافی برای سال‌های متمادی دارد، بخصوص در گودبرداری‌های عمیق و وسیع در شهرهای بزرگ، که گود به مدت طولانی به حال خود رها می‌گردد. در این صورت طراح سازه موقت وظیفه دارد یک راه حل کافی و مطمئن ولی متناسب با زمان و بدون تلف کردن مصالح و تحمیل هزینه‌های غیر قابل پیش بینی ارائه نماید. بنابراین در طراحی بسیاری از برنامه‌های گود برداری، باید قبول احتمال گسیختگی و یا تغییر شکل به دلیل ریسکی که به ایمنی و زندگی دیگران مربوط است، بسیار کم باشد.

اگر یک احتمال نسبتاً زیاد گسیختگی، مثلاً ۵ صدم و بیشتر در بارهای طراحی وجود داشته باشد، این ریسک باید با دقت کافی در نظر گرفته و محاسبه شود. به منظور تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی، این حالت وقتی انجام می‌شود که از دست دادن اقتصادی مد نظر باشد و نه از دست دادن و یا به خطر افتادن ایمنی و سلامت افراد. بنابراین در طراحی بسیاری از برنامه‌های گود برداری، ابتدا بایستی ریسک‌ها به دقت شناسایی شوند (Puller, 2003, 7). در ارزیابی ریسک، محاسبه هزینه‌های اولیه، هزینه‌های ساخت، هزینه‌های ناشی از گسیختگی و احتمال گسیختگی در رابطه با روش‌های مختلف پایدار سازی تعیین می‌گردد. برای طراحی خاک مهار شده و یا طراحی پایدار سازی جداره‌های گود برداری باید این اطمینان وجود داشته باشد که یک ضریب ایمنی<sup>۶</sup> کافی برای خرابی در یک دوره کوتاه (در طول دوره ساخت) برای سازه‌های موقت و یک ضریب ایمنی کافی برای خرابی برای مدت عمر طولانی سازه‌های زیر زمینی دائمی وجود دارد. به علاوه طراحی کارها باید طوری باشد که هم در دوره کوتاه (سازه موقت) و هم در دوره بلند (سازه دائمی) تغییر شکل خاک و یا سنگ مجاور حفاری به حدی محدود گردد که باعث نگرانی و خطر برای ساختمان‌ها و سرویس‌های مجاور گود نگردد.

در جداول ۱ و ۲ ریسک و ضرایب ایمنی پیشنهادی برای شرایط مختلف پایدار سازی آورده شده است.<sup>۷</sup> همان‌طور که در جدول شماره یک دیده می‌شود ضریب ایمنی

گود، تأمین ایمنی و مدت اجرا به شدت افزایش یافته و بعضی از روش‌های پایدار سازی کارآیی خود را از دست می‌دهند. بنابراین استفاده از حداکثر تراکم و امتیاز به وجود آمده و احداث طبقات زیرزمین امری است اختیاری ولی پایدار سازی کامل جداره‌های گودبرداری و تأمین ایمنی به لحاظ فنی و حقوقی امری الزامی می‌باشد که بایستی در مرحله افزایش تراکم، طراحی، صدور پروانه و قبل از گودبرداری توسط مهندسین شهرساز و معمار و در مرحله اجرا توسط مجریان مد نظر قرار گیرد.

## ب- الزامات قانونی

با توجه به ماده ۳۸ قانون مدنی مالکیت زمین، مستلزم مالکیت فضای محاذی آن است، تا هر کجا بالا رود و همچنین است نسبت به زیر زمین. با جمله مالک حق همه‌گونه تصرف در هوا و فراز دارد مگر آن‌چه را که قانون استثناء کرده باشد (حجتی اشرفی، ۱۳۸۵). ولی با توجه به ماده ۱۳۲ قانون مدنی کسی نمی‌تواند در ملک خود تصرفی کند که مستلزم تضرر همسایه شود، مگر تصرفی که به قدر متعارف و برای رفع حاجت یا رفع ضرر از خود باشد (حجتی اشرفی، ۱۳۸۵). با توجه به بند ۱۲-۱-۳، قسمت ب بند ۱۲-۱-۴، بند های ۱۲-۱-۹-۲، ۱۲-۱-۹-۱۲، ۱۲-۲-۹-۲، ۱۲-۲-۹-۳ و ۱۲-۲-۹-۴ مبحث ۱۲ مقررات ملی ساختمان ایمنی و حفاظت کار در حین اجرا (و همچنین بند ۷-۲-۲-۶ مبحث ۷ (پی و پی سازی) مقررات ملی ساختمان بر حفاظت و صیانت از جان و مال کسانی که به نحوی در معرض خطرهای ناشی از گودبرداری‌های ساختمان قرار دارند و بخصوص بر تأمین ایمنی مجاورین محل گودبرداری تأکید شده است.

با توجه به ماده ۳۸ قانون مدنی آزادی ساخت و ساز و ارتفاع‌گیری و همچنین آزادی گودبرداری و ساخت طبقات زیر زمین از حقوق مالک است ولی به استناد ماده ۱۳۲ قانون مدنی وقتی مالک می‌تواند از این حقوق مالکانه استفاده نماید که باعث ضرر و خسارت به همسایه نشود، بنابراین با توجه به قانون مدنی و مقررات ملی ساختمان، گودبرداری عمیق در صورتی مجاز می‌باشد که ایمنی مجاورین را به خطر نیندازد.

## ج- ریسک و ایمنی<sup>۴</sup>

فرآیند تشخیص اینکه چه چیزهایی، چه زمانی و چرا اتفاق می‌افتند و در صورتی که اتفاق بیفتند دارای چه تبعاتی می‌باشند، شناسایی ریسک نامیده می‌شود. ریسک پذیری یعنی پذیرش تبعات ناشی از اتفاق.

ریسک در تمام پروژه‌ها وجود دارد و بایستی شناسایی شود. قدم‌هایی که نشان‌دهنده تعادل بین اقتصاد و ایمنی

جدول ۱ - ضریب ایمنی پیشنهادی برای پایداری کلی.

خسارت جانی			ریسک زندگی		ریسک اقتصادی
زیاد	کم	ناچیز	ناچیز	خسارت اقتصادی	
۱,۴	۱,۲	>۱,۰	کم		
۱,۴	۱,۲	۱,۲	زیاد		

مأخذ: (Shaw - Shong, 2005)

ترانشه‌های باز و ۱۲ درصد سایر موارد که عمدتاً مربوط به کار غیر ایمن ماشین آلات بوده است<sup>۱۰</sup> (Puller, 2003,1).

نتایج به دست آمده از پروژه بررسی میزان اجرای مبحث ۱۲ مقررات ملی ساختمان در شهر تهران که توسط نگارنده مقاله در سال ۱۳۸۳ انجام گرفت نشان داد که در ۴۰ درصد موارد ضروری، پایدار سازی دیواره‌های گودبرداری انجام ولی فقط ۱۷ درصد پایدار سازی‌ها کافی و اصولی تشخیص داده شد<sup>۱۱</sup>. به طور کلی خرابی‌ها و خسارت‌های ناشی از گودبرداری را می‌توان به صورت زیر دسته بندی نمود:

### ۵- علت‌های گسیختگی در گودبرداری‌های عمیق (Puller, 2003, 5):

خرابی و خسارت ناشی از گود برداری را می‌توان به صورت زیر دسته بندی نمود<sup>۱۲</sup>:

۱- ناکافی بودن پیش‌بینی‌های ساختگاه که نتیجه فرضیات خوش بینانه (همگن بودن خاک) از مقاومت خاک و سنگ و شرایط آب زیر زمینی بوده است.

۲- درک ناکافی طراح (محاسب) از قابلیت نشست ساختمان‌ها و سرویس‌های مجاور گود برداری.

۳- عدم درک طراح و پیمانکار (مجری) از تأثیر هوا زدگی و مرور زمان روی مقاومت و پایداری خاک.

۴- نداشتن درک درست طراح و پیمانکار از عکس‌العمل نشست‌ها، در سازه خاک پایدار شده و تغییر شکل‌های خاک پایدار شده.

۵- نداشتن درک درست طراح از محدودیت روش‌های خاص پایدار سازی جداره‌های گود.

۶- ناکافی بودن جزئیات کیفی سازه پایدار کننده.

۷- ناکافی بودن ارتباط و هماهنگی بین طراح و پیمانکار.

۸- نداشتن درک درست پیمانکار از نتایج احتمالی تغییرات در شرایط خاک و سنگ در اثر گود برداری.

۹- عدم توجه به تغییرات بارگذاری ناشی از شرایط طبیعی مانند آب زیرزمینی، جذر و مد، امواج، درجه حرارت و نداشتن درک درست توسط پیمانکار از آثار احتمالی این تغییرات.

۱۰- استفاده از کارگران و عمل‌کننده‌های ضعیف و غیرحرفه‌ای بخصوص در رابطه با کارهای موقت.

۱۱- عدم توجه طراح و پیمانکار به مقررات ملی ساختمان و سایر قوانین و مقررات مربوطه و عدم درک درست تبعات آن

۱۲- عدم نظارت مؤثر و مستمر افراد و سازمان‌های مسئول امر نظارت بر اجرای ساختمان بخصوص در مرحله گود برداری.

۱۳- عدم توجه به امکان طولانی شدن عملیات ساختمانی و تبدیل شدن سازه موقت به سازه دائم.

۱۴- عدم توجه به تأثیرات نیر و‌های استاتیک و دینامیک مجاور گود ناشی از بار ساختمان‌ها، ترافیک عبوری و ....

جدول ۲ - ضریب ایمنی پیشنهادی برای شرایط مختلف.

نوع	گسیختگی	ضریب ایمنی (FOS)
خارجی	واژگونی	۲
	لغزشی	۱,۵
	ظرفیت باربری <sup>۸</sup>	۳
داخلی	پایداری کلی	جدول یک دیده شود
	بیرون کشیدگی <sup>۹</sup>	۲ (زمین - گروت)
	کشش	۲ (فولاد - گروت)
	سرنیل و پوسته بتنی	۳

مأخذ: (Shaw - Shong, 2005)

با توجه به ریسک زندگی و ریسک اقتصادی تعیین می‌گردد و با افزایش ریسک اقتصادی و ریسک زندگی ضریب ایمنی افزایش یافته و به تبع آن هزینه‌های پایدار سازی نیز افزایش می‌یابد. ضرایب ایمنی فوق با توجه به شرایط ایران به خصوص از نظر تأثیر خطاهای انسانی در مراحل مطالعات و اجرا و عدم تحقق نظام کنترل کیفیت در تمامی بخش‌های اجرایی قابل اصلاح می‌باشند. در ایران مجری و یا پیمانکار با هزینه‌ای جزئی پروژه را در مقابل خطرات ناشی از گودبرداری بیمه نموده و عملاً افزایش ریسک اقتصادی و ریسک زندگی و تأثیر آن در ضریب ایمنی را از بین می‌برند.

### د: خرابی‌ها و خسارت‌های ناشی از گودبرداری

در اثر گودبرداری‌های غیر اصولی سلامت و ایمنی کارگران شاغل در پروژه، ساکنین ساختمان‌های مجاور گودبرداری، عابریان پیاده و سرنشینان خودروهای عبوری و همچنین ساختمان‌ها و مستحذات و وسایل نقلیه موجود در کارگاه و یا مجاور آن دچار خسارت می‌شوند. حوادث منجر به مرگ و یا صدمات جانی شدید ناشی از گودبرداری‌های غیر عمیق در انگلستان بین سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۱ نشان می‌دهد که ۵۴ درصد موارد مربوط به گودبرداری‌های غیر مهار شده، ۱۲ درصد موارد مربوط به کار کردن جلوتر از مهار، ۱۶ درصد موارد مربوط به مهار ناکافی جداره‌های گودبرداری، ۶ درصد موارد مربوط به شیب‌های ناپایدار

تأمین پایدار از داخل گود می‌باشند. در مواردی که محدود کردن تغییر شکل‌های افقی در جداره گود برداری ضروری است، مناسب‌ترین روش برای گودبرداری های کم عرض، روش مهار روبرو و در سایر موارد روش خرپا و یا روش های تلفیقی (تصاویر ۵ و ۶) می باشد.

#### ۲: تأمین پایدار جداره گود برداری از خارج گود

در مواردی که در محدوده مالکیت و یا کسب مجوز از مالکین املاک مجاور بتوان با ایجاد شیب و یا حفاری در جناحین ساختگاه پایدار سازی جداره گودبرداری را تأمین نمود روش های پایدار سازی جداره گودبرداری از خارج گود مد نظر قرار می گیرد. روش های انکراژ، شمع و انکراژ (تصاویر ۷ و ۸)، دیوار دیافراگم و انکراژ (تصویر ۳) و میخ کوبی (تصاویر ۹) روش های پایدار سازی جداره گود برداری از خارج گود می باشند.

در مواردی که محدودیت هایی برای اجرای کامل پایدار سازی جداره گود، با استفاده از یک روش وجود داشته باشد، می توان با کمک گرفتن از روش های دیگر و به صورت تلفیقی پایدار سازی مورد نظر را تأمین نمود (تصویر ۱۰).

#### و- روش های پایدار سازی جداره های گود برداری<sup>۱۳</sup>

روش مناسب گود برداری با توجه به نوع خاک، سطح آب زیرزمینی، عمق گود و موقعیت و شرایط مجاورین و الزامات قانونی ساختگاه و بخصوص اصل تأمین کامل ایمنی مجاورین و بخصوص انسان ها، هزینه های پایدار سازی، (هزینه های اولیه، هزینه های اجرائی، هزینه های جمع آوری سازه موقت)، هزینه های ناشی از خرابی، (گسیختگی و یا تغییر شکل) و مشکلات و محدودیت های اجرایی انتخاب می گردد. روش های پایدار سازی جداره های گود برداری را می توان به صورت زیر دسته بندی نمود:

#### ۱: تأمین پایدار از داخل گود

در گود برداری هایی که به دلایل فنی و یا حقوقی امکان ایجاد یک دیواره در جناحین ساختگاه بدون تأمین تکیه گاه مناسب برای آن وجود ندارد و نمی توان انتظار داشت که دیواره خود ایستا باشد، پایدار سازی جداره گود برداری از داخل ساختگاه اجتناب ناپذیر می باشد. روش های مهار روبرو (تصویر ۱)، خرپا (تصویر ۲)، دیافراگم (تصویر ۳) و اجرای شمع درجا (تصویر ۴) از روش های



تصویر ۳- پایدار سازی جداره گودبرداری از داخل و خارج گود- روش دیافراگم و دیافراگم و انکراژ. (مأخذ: نگارنده)



تصویر ۲- پایدار سازی جداره گودبرداری از داخل - روش خرپا، (مأخذ: نگارنده)



تصویر ۱- پایدار سازی دیواره گودبرداری از داخل گود- روش مهار روبرو. (مأخذ: نگارنده)



تصویر ۶- پایدار سازی جداره گودبرداری از داخل گود - روش تلفیقی (شمع در جا و مهار روبرو). (مأخذ: نگارنده)



تصویر ۵- پایدار سازی جداره گودبرداری از داخل و خارج - روش تلفیقی (دیافراگم، مهار روبرو و انکراژ)، (مأخذ: نگارنده)



تصویر ۴- پایدار سازی دیواره گودبرداری از داخل - روش اجرای شمع در جا. (Puller, 2005.) (مأخذ: نگارنده)



تصویر ۸- پایدار سازی جداره گودبرداری از خارج گود به روش شمع و انکراژ. (مأخذ: نگارنده)



تصویر ۷- پایدار سازی جداره گودبرداری از خارج گود- روش میخ کوبی. (مأخذ: نگارنده)



تصویر ۱۲- روش میخ کوبی - حفاری نیل ها.  
(مأخذ: نگارنده)



تصویر ۱۳- روش میخ کوبی - شاتکریت.  
(مأخذ: نگارنده)



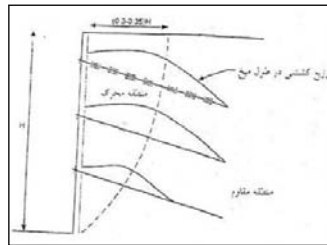
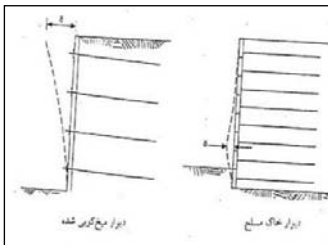
تصویر ۱۴- پایدارسازی جداره گودبرداری از  
خارج گود - روش تلفیقی (شمع افقی)،  
(مأخذ: نگارنده)



تصویر ۹- پایدارسازی جداره گودبرداری از  
خارج گود - روش میخ کوبی.  
(مأخذ: نگارنده)

## روش میخکوبی<sup>۱۴</sup>

خاکریزی مسلح کننده‌ها کار گذاشته می‌شوند. ثانیاً همان طور که در شکل شماره ۱۵ دیده می‌شود در روش میخکوبی بیشترین تغییر مکان در بالای دیوار تسلیح شده و در روش خاک مسلح بیشترین تغییر مکان در پایین دیوار اتفاق می‌افتد (Clouterre 1991 P26).



تصویر ۱۴- رفتار سیستم میخ کوبی. تصویر ۱۵- تفاوت تغییر مکان در دیوارهای خاک مسلح و دیوارهای میخ کوبی.  
مأخذ: (دربا خاک و پی، ۱۳۸۰) (CLOUTERRE, 1991, 26)

دیوار خاک میخ کوبی شده را به سختی می‌توان در تراز آب زیر زمینی انجام داد. در این شرایط برای پایین بردن سطح آب زیرزمینی باید روش‌های اجرائی مخصوص، از قبیل پمپاژ و یاسیستم زهکشی به کار گرفته شود (تصاویر ۱۶ و ۱۷).



تصویر ۱۷- روش میخ کوبی - حفره چاه  
زهکشی در کف گود.  
(مأخذ: نگارنده)

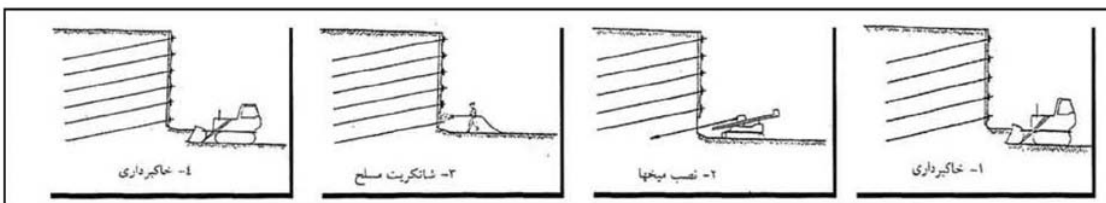


تصویر ۱۶- روش میخ کوبی - مشکلات  
اجرائی بالا بودن سطح آب زیر زمینی.  
(مأخذ: نگارنده)

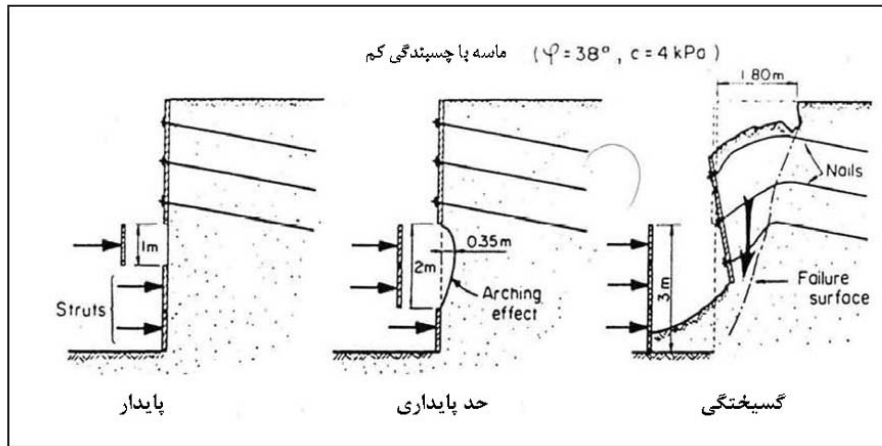
این روش در پایداری سازی شیب‌ها، جداره‌های گود برداری، افزایش ظرفیت باربری خاک و محدود کردن تغییر شکل‌ها و با حداقل دست‌خوردگی در وضعیت زمین، کاربردهای فراوانی دارد. مبنای این روش، تسلیح برجای خاک می‌باشد که در دو دهه اخیر جهت پایدار سازی جداره‌های گودبرداری‌های عمیق و همچنین شیب‌های طبیعی و مصنوعی در کشورهای فرانسه و آلمان توسعه روزافزون داشته است. این روش در سال‌های اخیر در تهران و بعضی دیگر از شهرهای بزرگ ایران برای پایدارسازی جداره‌های گودبرداری‌های عمیق بکار گرفته شده و به سرعت رو به توسعه می‌باشد. این توسعه روزافزون به علت دو ویژگی مهم روش میخ کوبی یعنی مقایسه اقتصادی این روش با سایر روش‌ها و دیگری سرعت اجرای آن می‌باشد.

همان گونه که در تصاویر ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ و ۱۴ دیده می‌شود، میخ کوبی عبارتست از ساختن یک دیوار خاک میخ کوبی شده، شامل مسلح کردن خاک در محل با توسعه کار در سطحی که حفاری شده، بوسیله قرارگیری میله‌های پسیو که الزاماً در کشش کار می‌کنند. این میله‌ها که به موازات هم و با کمی شیب به سمت پایین قرار گرفته اند می‌توانند جزیی درخمش و برش نیز کار کنند. اصطکاک بین خاک و میخ، کشش نهایی را ایجاد می‌کند، با استفاده از این روش و گودبرداری از بالا به پایین، به تدریج یک دیوار وزنی از خاک مسلح شده به وجود می‌آید. برای اینکه میخ‌ها با خاک به صورت یکپارچه عمل نموده و از خاک جدا نشوند یک پوسته بتنی عمودی روی جداره گودبرداری از مش و شاتکریت ایجاد می‌شود که روی آن یک صفحه فلزی به سر میخ متصل می‌گردد.

دو تفاوت عمده بین روش میخ کوبی و خاک مسلح وجود دارد. اولاً در روش میخکوبی همزمان با عملیات گود برداری میخ کوبی انجام می‌شود، ولی در روش خاک مسلح همزمان با عملیات



تصویر ۱۱- مراحل ساخت یک دیوار خاک میخ کوبی شده.  
مأخذ: (CLOUTERRE, 1991, 3)



تصویر ۱۸- پایداری فازهای حفاری. مأخذ: (CLOUTERRE, 1991, 4)

گیرد. مقاومت گروت-زمین با در نظر گرفتن مقاومت خاک، روش حفاری، تمیز کردن سوراخ حفاری، قطر سوراخ، مدت زمان باز بودن سوراخ، شرایط آب زیر زمینی، نوع مصالح و روش تزریق گروت تعیین می‌گردد. اگر سوراخ حفاری شده مرطوب و یا اشباع باشد باید دقت لازم در رابطه با کاهش مقاومت سطحی بین گروت و زمین در مکانیزم بیرون کشیدگی میخ نیز به عمل آید (Shaw - Shong, 2003).

محافظت میخ در مقابل خوردگی در سازه‌های غیر موقت نیز باید با پوشش کافی گروت و یا گالوانیزه کردن میخ بوجود آید.

**ب - پوسته بتنی:**

مقاومت پوسته بتنی در مقابل برش، بایستی بررسی گردد (Shaw - Shong, 2005). در تصویر ۱۹ برش احتمالی در پوسته بتنی نشان داده شده است.

در مرحله حفاری باید خاک دارای حداقل چسبندگی برای پایداری موضعی باشد. برای تامین چسبندگی و پایداری سطحی خاک، بعد از گود برداری و قبل از میخ کوبی بلافاصله سطح خاک شاتکریت می‌گردد.

پایداری موضعی در موقع گودبرداری و میخ کوبی دقیقاً به ارتفاع گودبرداری مربوط می‌باشد، در حالی که در پایداری کلی گسیختگی و خارج شدن میخ‌ها از داخل خاک، هنگامی که طول مهار شده آنها در داخل ناحیه مقاوم کافی نباشد و در نتیجه تنش‌های برشی به وجود آمده در این طول کمتر از مقاومت لغزش مصالح تسلیم باشد اتفاق می‌افتد. در تصویر ۱۸ پایداری و گسیختگی کلی دیوار خاک میخ کوبی شده نشان داده شده است.

**آنالیز و طراحی دیوار میخ کوبی شده**

در بررسی پایداری دیوار میخ کوبی شده از یک سو گسیختگی توده تسلیم شده و از سوی دیگر تغییر مکان‌های آن در طول اجرا و بعد از آن مورد توجه قرار می‌گیرد.

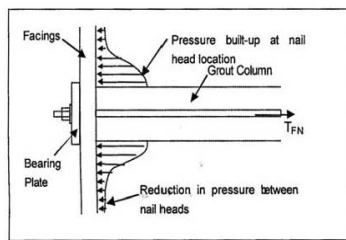
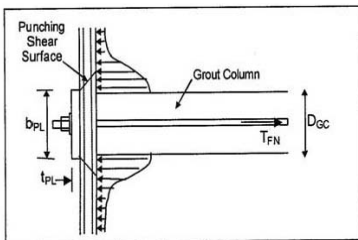
مراحل طراحی سیستم میخ کوبی شامل انتخاب پارامترهای خاک، تعیین فاصله قائم و افقی میخ‌ها، طول و مقطع میخ، طرح شاتکریت و طرح صفحه فلزی سر میخ می‌باشد. در طراحی موارد فوق باید به چسبندگی مجموعه میخ و گروت به توده خاک، مقاومت خمشی پوسته شاتکریت، کنترل برش<sup>۱۵</sup> پوسته شاتکریت و صفحه فولادی سر میخ توجه گردد.

بطور کلی طراحی خاک میخ شده بایستی موضوعات زیر را پوشش دهد:

- ۱ - اجزاء میخ<sup>۱۶</sup>
- ۲ - لایه بتنی (شاتکریت مسلح) و صفحه فلزی روی آن<sup>۱۷</sup>
- ۳ - زهکشی آب‌های سطحی و زیر زمینی<sup>۱۸</sup>
- ۴ - تغییر مکان‌های عمودی و افقی دیوار خاک میخ کوبی شده<sup>۱۹</sup>

**الف - اجزاء میخ**

برای بررسی مقاومت اجزاء میخ، بایستی مقاومت گروت - خاک، مقاومت سر میخ و مقاومت سازه مسلح شده با میخ مد نظر قرار



تصویر ۱۹- الف - توزیع فشار تیپ در پوسته بتنی. ب - برش تیپ در صفحه اتصال باربر. مأخذ: (Shaw - Shong, 2005)

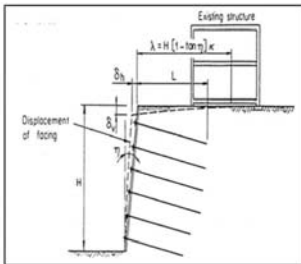
بررسی مقاومت لایه بتنی در مقابل خمش در فاصله بین میخ‌ها نیز ضروری می‌باشد. سختی و مقاومت پوسته بتنی در مقابل خمش با ضخامت پوسته و نسبت فولاد تسلیم کننده (مش‌ها) افزایش، و با افزایش فاصله میخ‌ها کاهش می‌یابد.

موضوع دیگری که در رابطه با پوسته بتنی بایستی بررسی و کنترل گردد، پایداری قسمت آزاد یا کنسول بالای اولین ردیف میخ‌ها و زیر پایین ترین ردیف میخ‌های خاک می‌باشد. (Shaw - Shong, 2005) تصاویر ۲۰ و ۲۱ رانش قسمت کنسول پوسته بتنی را در یک پروژه نشان می‌دهد.

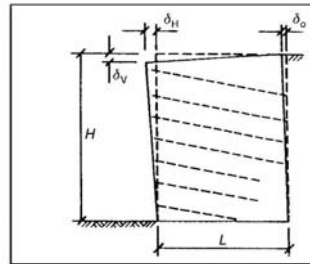
بدین نکته نیز باید توجه گردد که خارج شدن آب زیرزمینی پتانسیل تغییر شکل‌های افقی و قائم را در زمین مجاور گود بوجود می‌آورد، که در این روش با عمل تزریق این تغییر شکل‌ها محدود می‌گردد.

#### د - تغییر مکان‌های افقی و عمودی

همان گونه که در شکل‌های شماره ۲۳ و ۲۴ دیده می‌شود، ایجاد دیوار خاک میخ کوبی شده دارای تغییر شکل‌های افقی و قائم قابل توجهی می‌باشد. اثر این تغییر شکل‌ها بایستی بر ساختمان‌ها و تأسیسات مجاور گود برای جلوگیری از خرابی، ترک و ایجاد نگرانی بررسی گردد. در تصاویر ۲۳ و ۲۴ تغییر مکان‌های افقی و عمودی نشان داده شده است.



تصویر ۲۵ - استفاده از روش میخ کوبی در یک سایت شهری با ساختمان موجود مجاور آن.  
مأخذ: (CLOUTERRE, 1991, 12)



تصویر ۲۴ - تعاریف تغییر مکان‌های  $\delta_o$  و  $\delta_v$ ,  $\delta_h$   
مأخذ: (PULLER, 2003, 88)

در جدول ۳، تغییر شکل‌های افقی و قائم در یک دیوار خاک میخ کوبی شده نشان داده شده است.

جدول ۳- تغییر مکان‌ها در دیوار خاک نیل شده.

نوع خاک	سنگ‌های فرسوده، خاک سخت	خاک شنی	خاک رسی
$\delta_H = \delta_V$	$H/1000$	$2H/1000$	$3H/1000$
K	۰,۸	۱,۲۵	۱,۵

مأخذ: (CLOUTERRE '1991,P56- PULLER' 2003, 88)

با توجه به تصویر ۲۵ به این نکته نیز بایستی توجه گردد که انجام میخ کوبی مشخصات و مقاومت قسمتی از زمین زیر پی ساختمان‌ها و تأسیسات مجاور گود را تغییر داده و اثر این امر بایستی در رفتار پایداری مستحقات مجاور گودبرداری در مقابل نیروهای ناشی از زلزله و نشست‌های بعدی بطور جدی مورد بررسی قرارگیرد.



تصویر ۲۱- روش میخ کوبی - رانش پوسته بتنی و تخریب پیاده‌رو و تأسیسات زیر بنایی مجاور سایت.  
(مأخذ: نگارنده)



تصویر ۲۰- روش میخ کوبی - رانش پوسته بتنی قسمت آزاد بالای اولین ردیف میخ‌ها،  
(مأخذ: نگارنده)

#### ج - زهکشی آب‌های سطحی و زیر زمینی

برای بسیاری از سطوح مقاوم شده، کنترل آب زیر زمینی به دلیل تأثیر زیاد آن روی ضریب ایمنی بسیار حساس و بحرانی می‌باشد. سطح ایستایی آب یکی از پارامترهای مهندسی است که بر سیستم‌های مهاربندی و میخ کوبی شده، تأثیر قابل توجهی دارد. لذا با اجرای یک سیستم زهکشی بایستی امکان پایین آمدن سطح آب‌های زیر زمینی را فراهم کرد. این سیستم اولاً باید از ایجاد فشار هیدرواستاتیک اضافی بر روی سطح دیوار یا اجزای سازه‌ای جلوگیری کند، ثانیاً از سطح سازه در برابر خوردگی و فرسایش محافظت نماید، ثالثاً از اشباع خاک میخ کوبی شده که باعث بوجود آمدن تغییر مکان‌های اضافی یا احتمالاً ناپایداری در کل سازه می‌شود جلوگیری نماید (تصاویر ۲۲ و ۲۳).

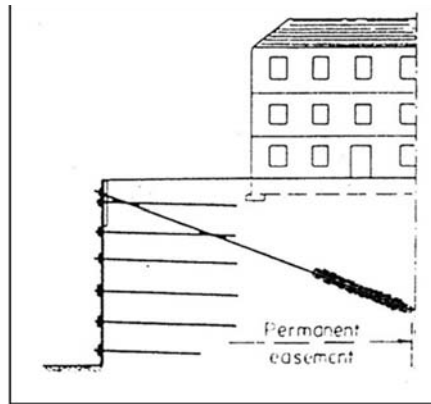


تصویر ۲۲- روش میخ کوبی - پمپاژ و زهکشی از چاه‌های دستی بستر گود.  
(مأخذ: نگارنده)



تصویر ۲۳- روش میخ کوبی - حفر چاه عمیق در بستر گود برای پمپاژ و زهکشی.  
(مأخذ: نگارنده)





تصویر ۲۶- اثر دائمی دیوار خاک میخ کوبی شده بر روی ساختمان و تأسیسات مجاور گود.  
ماخذ: (CLOUTERRE, 1991, 74)

## نتیجه

### الف- قابلیت‌ها

- ۱- سرعت اجرا
- ۲- هزینه قابل قبول
- ۳- انطباق آسان و سریع با شرایط سایت‌های مختلف
- ۴- انطباق راحت با شرایط خاک‌های مرطوب
- ۵- کاهش تجهیزات و مصالح
- ۶- عدم نیاز به گودبرداری اضافی و خاکریزی بعدی آن
- ۷- عدم نیاز به ماشین‌آلات سنگین
- ۸- اجرای سریع و مطمئن عایق رطوبتی
- ۹- عدم تداخل و مزاحمت سازه‌های پایدار شده با عملیات اصلی ساختمان و کاهش هزینه این عملیات

### ب- محدودیت‌ها

- ۱- وارد شدن به محدوده مالکیت مجاورین
- ۲- احتمال ایجاد تغییر مکان‌های افقی و عمودی در زمین مجاور گود (در صورت در نظر نگرفتن تمهیدات لازم) و احتمال ایجاد ترک در ساختمان‌های مجاور گود
- ۳- عدم امکان اجرای میخ کوبی در ۳ تا ۴ متر اول گودبرداری در زمین‌های مجاور خیابان به دلیل امکان برخورد با تأسیسات شهری
- ۴- محدودیت استفاده در زمین‌های لجنی
- ۵- محدودیت استفاده از این روش در زمین‌های دارای قنوات، چاه‌ها، انباره‌های فاضلاب و ...
- ۶- محدودیت استفاده در خاک‌های دارای خاصیت خورندگی بالاروی فولاد میخ.
- ۷- ایجاد ناهمگنی احتمالی در مقاومت و نوع خاک زیر پی ساختمان‌ها و تأسیسات مجاور گود
- ۸- علیرغم تکنیک ساده نیاز به نیروهای اجرایی با دقت و تجربه کافی

استفاده از حداکثر تراکم و احداث طبقات زیر زمین امری است اختیاری، ولی پایدار سازی کامل جداره‌های گودبرداری و تأمین ایمنی کارگران و مجاورین به لحاظ فنی و حقوقی امری است الزامی. در مواد ۳۸ و ۱۳۲ قانون مدنی و همچنین مباحث ۷ و ۱۲ مقررار ملی ساختمان بر حفاظت و صیانت از جان و مال کسانی که به نحوی در معرض خطرهای ناشی از گودبرداری‌های ساختمانی قرار دارند تأکید شده است. برای تأمین این نظر باید این اطمینان وجود داشته باشد که یک ضریب ایمنی کافی برای شرایط مختلف پایدار سازی جداره‌های گودبرداری وجود دارد. تعیین ضریب ایمنی علاوه بر اینکه امری فنی است، امری قانونی نیز می‌باشد و بایستی حداقل‌های آن توسط مراجع مربوطه تعیین و ابلاغ گردد. همچنین در افزایش تراکم در عرصه‌های محدود لازم است میزان فضاهای خدماتی مورد نیاز در طبقات زیر زمین و نحوه گودبرداری و پایدارسازی جداره‌های گودبرداری مدنظر قرار گیرد.

تغییر مکان‌های افقی و عمودی باید قبل از گودبرداری تعیین و اثر آنها بر ساختمان‌ها و تأسیسات مجاور گودبرداری برای جلوگیری از خرابی، ترک و ایجاد نگرانی بررسی گردد. تغییر مکان‌های افقی و عمودی در اغلب روش‌های پایدار سازی جداره‌های گودبرداری وجود دارد که برای کاهش آنها از روش‌های تلفیقی استفاده می‌شود.

از نظر حقوقی روش‌های پایدار سازی از داخل گود به دلیل اینکه در محدوده مالکیت عمل می‌کند بر روش‌های پایدارسازی جداره گودبرداری از خارج گود و یا روش‌های تلفیقی رجحان دارد ولی در مواردی که در اثر گودبرداری و پمپاژ احتمال افت سطح آب زیر زمینی زیر پی ساختمان‌های مجاور گودبرداری وجود دارد مناسب ترین روش میخ کوبی می‌باشد. به طور کلی مهم ترین قابلیت و محدودیت‌های روش میخ کوبی برای پایدار سازی عبارت است از:

شهرداری تهران تهیه شده است، توسط مراجع مربوطه تهیه گردد. همچنین با توجه به تخصصی بودن کار و حساسیت های آن و جلوگیری از گسیختگی دیواره های گودبرداری که در چند مورد شاهد آن بوده ایم، لازم است طراحان و مجریان دست اندرکار میخ کوبی نیز رتبه بندی و تشخیص صلاحیت شوند.

با توجه به اینکه روش میخ کوبی در سال های اخیر در تهران و بعضی دیگر از شهرهای بزرگ ایران برای پایدارسازی جداره های گودبرداری به کار گرفته شده و به سرعت رو به توسعه می باشد، پیشنهاد می گردد تدوین دستورالعمل های محاسباتی و اجرایی این روش همانند CLOUTERRE که در فرانسه تهیه شده و یا دستورالعمل گودبرداری و ایمن سازی به روش خرپا که توسط

## پی نوشت ها:

- ۱ این مقاله تجدید نظر شده مقاله ارائه شده در همایش مقررات ملی ساختمان در تاریخ ۱۶ - ۱۵ آذر ماه ۱۳۸۶ در شیراز می باشد.
- ۲ Nailing.
- ۳ برای آگاهی بیشتر به مجموعه مقالات نخستین همایش ملی ساختمان های بلند در ایران (۲۴ - ۲۱ مهر ماه ۱۳۷۶)، جلد دوم و کتاب مسائل اساسی بلند مرتبه سازی - برگزیده ای از آخرین چاپ کتاب معروف ولفگانگ شولر ترجمه گروه مترجمان و اصول و معیارهای تعیین تراکم شهری تألیف محمد مهدی عزیزی را ببینید.
- ۴ به: Malcolm Puller. Deep Excavations Practical manual and Edition Thomas Telford limited 2003 مراجعه شود.
- ۵ Soil support.
- ۶ Safety Factor.
- ۷ به مقاله: Geotechnical Engineering May 2005 Soil Nailing For Slope Strengthening By Ir.Liew Shaw Shong, P7 مراجعه شود.
- ۸ Bearing Capacity.
- ۹ Pull out.
- ۱۰ آمار ارائه شده، برای گودبرداری های غیر عمیق و یا کمتر از ۶ متر می باشد.
- ۱۱ طرح پژوهشی "بررسی میزان اجرای مبحث ۱۲ مقررات ملی ساختمان در شهر تهران" با اعتبارات پژوهشی دانشگاه تهران در سال ۱۳۸۲ انجام شده است.
- ۱۲ Deep Excavation, P5 و گودبرداری و ایمن سازی (صفحات ۱، ۲ و ۳ دیده شود).
- ۱۳ به گزارش طرح پایدار سازی موقت گود در محل برج اداری - تجاری قلپک، مهندس سان مشاور دریا خاک و پی مراجعه شود.
- ۱۴ به گزارش طرح پایدار سازی موقت گود در محل برج اداری و تجاری قلپک مهندس سان مشاور دریا خاک و پی، CLUERRE Soil Nailing Pecommendations, Geotechnical Engineering 2005, Soil Nailing For Slope Strengthening By Ir.Liew Shaw Shong, France 1991، و مقاله: Malcolm Puller. Deep Excavations pages 82 - 90. مراجعه شود.
- ۱۵ Punching.
- ۱۶ Nail Element.
- ۱۷ Facing Elements and Connections.
- ۱۸ Surface and Sub Surface Drainages.
- ۱۹ Horizontal and Vertical Displacement.
- ۲۰ قابلیت ها و محدودیت های ارائه شده در مقاله Shaw - Shong با توجه به تجربه نگارنده مقاله افزایش یافته است.

## فهرست منابع:

- حجتی اشرفی، غلامرضا (۱۳۸۵)، قانون مدنی با آخرین اصلاحات و الحاقات، گنج دانش، تهران.
- عزیزی، محمد مهدی (۱۳۸۲)، تراکم در شهرسازی - اصول و معیارهای تعیین تراکم شهری، مؤسسه انتشارات و چاپ، تهران.
- دانشگاه علم و صنعت ایران (۱۳۷۶)، مجموعه مقالات نخستین همایش ملی ساختمان های بلند در ایران، جلد دوم، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.
- مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری (۱۹۹۰)، مسائل اساسی بلند مرتبه سازی، ولفگانگ شولر و مقالات چهارمین کنفرانس جهانی ساختمان های بلند.
- مشهدی، سهراب (۱۳۷۶)، بلند مرتبه سازی در تهران و ضوابط هدایتگر و باز دارنده مورد نیاز، مجموعه مقالات نخستین همایش ملی ساختمان های بلند در ایران، جلد دوم، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.
- مقررات ملی ساختمان مبحث ۷ (۱۳۸۶)، پی و پی سازی، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی، تهران.
- مقررات ملی ساختمان مبحث ۱۲ (۱۳۸۵)، ایمنی و حفاظت کار در حین اجرا، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی، تهران.
- مهندسان مشاور اینترکان (۱۳۷۵)، گود برداری و ایمن سازی، معاونت معماری و شهرسازی شهرداری تهران، تهران.
- مهندسان مشاور دریاخاک و پی، گزارش طرح پایدارسازی موقت گود در محل برج اداری- تجاری قلهک.

Soil Nailing Recommendation (1991), *French National Research Project CLOUTERRE*, France.

Ir.Liew Shaw Shong(2005), *Soil Nailing For Slope Strengthening, Geotechnical Engineering*.

International Building Code (2003).

Malcolm Puller (2003), *Deep Excavations Practical Manual*, 2nd Editions, Thomas Telford Limited.

*Principles of Geotechnical Engineering*, Forth Edition, Braja M.DAS (1998).