

توصیه هایی برای بهبود گودبرداری های سنتی در تهران با استفاده از تیرکهای مایل در مجاورت ساختمان همسایه

علی فاخر ، دانشیار دانشکده مهندسی عمران ، دانشگاه تهران

چکیده

گودبرداری های سنتی با استفاده از تیرکهای مایل در مجاورت ساختمان همسایه در ابتدا تشریح شده و سپس مکانیزم عملکرد آنها به نقل از تحقیقات قبلی مولف بیان گردیده است. سپس در بخش اصلی این مقاله توصیه هایی برای بهبود گودبرداری های سنتی در مجاورت ساختمان همسایه ارائه شده است. لازم است تیرک مایل به اعضای باربر ساختمان همسایه مثل ستون و پی متصل گردد و اتصالاتی با تحمل بار برشی قائم برای دیوارهای آجری باربر بکار رود. اتصال تیرک مایل به پی ساختمان همسایه بیش از اتصال به ستون و دیوار باربر موثر است. لازم است پی مناسب برای محل اتصال تیرک مایل به گود در نظر گرفته شود. همچنین توصیه می گردد که گودبرداری بصورت مرحله ای انجام شود. بدینصورت که نخست حاشیه خاکی در اطراف گود باقی گذاشته شود و گودبرداری تا نیمی از عمق انجام گیرد. سپس تیرکها نصب شود و بعد گودبرداری تکمیل گردد.

1- مقدمه

در شهر تهران شاهد خرابی های جزئی و کلی ساختمانهای مجاور گود بوده ایم. آمار گزارش شده از سوی سازمان آتش نشانی حاکی از وخامت اوضاع می باشد (ناسخیان 1382). بطور متوسط در هر روز یک حادثه ریزش ساختمان مجاور گود ناشی از گودبرداری غیراصولی در تهران اتفاق می افتد که موجب زیان مالی و جانی شهروندان می گردد. این حوادث لزوم تحقیق و آموزش در این زمینه و همچنین نظارت بر حسن اجرای گودها در سطح جزئی و کلان را روشن می سازد. همچنین لازم است دستورالعمل های ملی ایمنی گودبرداری تهیه گردد.

بطور کلی روشهای کلاسیک مختلفی برای نگهداری گود و ساختمان مجاور آن در مراجع بین المللی ذکر شده است (Ou et al 2000) ، لیکن روشهای بومی و رایج در هر منطقه به دلیل آشنایی پیمانکاران محلی و دسترسی مصالح مورد نیاز معمولاً ترجیح داده می شود. روشهای کلاسیک نگهداری دیواره گود مثل شمعهای مجاور هم با مهار افقی یا پشت بند مثل شکل (1) و همچنین روش میخکوبی خاک نیز در تهران بکار رفته است، لیکن تحلیل و طراحی این روشها مطابق مراجع و آیین نامه های طراحی صورت می گیرد و از نظر مکانیزم عملکرد بطور نسبی شناخته شده است (Kim, 2001) و موضوع مقاله حاضر نمی باشد. از دیرباز روشی سنتی در تهران بر اساس استفاده از تیرکهای مایل جهت نگهداری گود در مجاورت ساختمان همسایه متداول بوده است. از آنجا که تحقیقات کافی در زمینه این روش بومی صورت نگرفته است، مکانیزم عملکرد تیرکهای مایل در بین مهندسان طراح و پیمانکاران شناخته شده نیست و روش مناسبی جهت طراحی در دسترس نمی باشد. گاهی روشهای نادرست طراحی مثل تحلیل بر اساس پایداری شیروانی های خاکی به تنهایی در کارهای عملی بکار می رود که نادرست می باشد. این اشتباه ناشی از عدم شناخت مکانیزم عملکرد تیرکهای مایل می باشد.

روش سنتی استفاده از تیرکهای مایل که در این مقاله تشریح می شود، در شهرهای مختلف ایران با خاک مستحکم بکار می رود ولی عمدتاً یک روش بومی تهران محسوب می شود. در بخشهای مرکزی و شمالی تهران که خاک معمولاً درشت دانه است و می تواند سیمانته هم باشد، نگهداری سنتی ساختمان مجاور گود در حین گودبرداری با تیرکهای مایل انجام می گیرد. البته در هر جا که خاک مقاومت نسبی خوبی داشته باشد، این روش بکار می رود. در این روش نخست یک حاشیه خاکی در مجاورت ساختمان همسایه باقی گذاشته شده و بقیه گود حفاری

می‌گردد. سپس تیرک‌هایی به دیوار یا ستون ساختمان همسایه متصل می‌گردد. این تیرک‌های مایل از یک طرف به ساختمان و از طرف دیگر به کف گود متصل هستند. شکل (2) نمونه‌ای از تیرک‌های مایل چوبی را نشان می‌دهد. استفاده از تیرک‌های مایل فلزی نیز متداول است و امکان دارد هر تیرک از یک خرپا تشکیل شود. اگر عرض گود کم باشد، تیرک‌ها افقی می‌شوند و ساختمان‌های دو طرف گود را به هم وصل می‌کنند. مثالی از این حالت در شکل (3) آمده است. هر تیرک افقی در این تصویر در واقع یک خرپا است.

روش سنتی نگهداری ساختمان مجاور گود که بر اساس استفاده از تیرک‌های مایل یا افقی قرار دارد و از دیرباز در تهران بکار رفته است، موضوع مقاله حاضر می‌باشد. جستجوی مفصل مولف در مراجع فنی و گزارش‌های احرائی نشان می‌دهد که در موارد نادر به پروژه‌هایی مثل شکل (4) در سایر نقاط جهان برخورد می‌شود که شبیه روش سنتی نگهداری ساختمان مجاور گود در تهران است البته معمولاً فاقد گزارش‌های فنی قابل استناد می‌باشند.

2- مکانیزم عملکرد تیرک‌ها

تمام روش‌های نگهداری خاک مثل دیوارهای حائل، دیوارهای مهار شده و میخکوبی خاک به نحوی خاک را نگه می‌دارند و در واقع در تماس با توده خاک هستند ولی تیرک‌های مایل در تماس مستقیم با ساختمان همسایه هستند. بنابراین تیرک‌های مایل را نمی‌توان نوعی ابنیه کلاسیک نگهبان خاک محسوب نمود. به همین دلیل روش استفاده از تیرک‌های مایل متکی به ساختمان همسایه در مراجع متداول و کتب کلاسیک تشریح نمی‌شود.

تا آنجا که مؤلف میداند یکی از اولین تحقیقات منسجم در زمینه روش بومی استفاده از تیرک مایل در حدود ده سال قبل ارائه گردید (حسینی لواسانی 1375). سپس تعدادی مطالعات موردی از گودبرداریه‌ها بومی تهران توسط مؤلف با همکاری دانشجویان صورت گرفت لیکن مجال انتشار نیافت. آنگاه مطالعاتی که به بررسی عددی گودبرداری سنتی اختصاص داشت (ناسخیان 1382) موجب شناخت خوبی در این زمینه گردید. متعاقباً جمع‌بندی کارهای انجام شده تا آن زمان در چارچوب یک گزارش تحقیقی ارائه گردید (فاخر 1382). مطالعات انجام شده (حسینی لواسانی 1375 ناسخیان 1382 و فاخر 1382) بر اساس مطالعات موردی در سطح شهر تهران و مدلسازی عددی استوار است. خواننده علاقمند برای اطلاع از جزئیات تحقیقات مذکور به مراجع اصلی ارجاع داده می‌شود.

اولین گام در شناخت مکانیزم تیرک‌های مایل عبارت از توجه به دو دیدگاه کنترل پایداری و کنترل تغییر شکل در بررسی گود است. وقتی گودبرداری مجاور ساختمان همسایه انجام می‌شود، یک شیروانی بوجود می‌آید که ممکن است به همراه ساختمان مجاور گود دچار ناپایداری و لغزش شود. برای بررسی پایداری این شیروانی می‌توان از روش‌های متداول بررسی پایداری شیروانی‌ها که در اغلب مراجع درسی وجود دارد استفاده کرد. در این دیدگاه همچنین کاهش ظرفیت باربری پی ساختمان همسایه در مجاورت شیب ناشی از گودبرداری مطالعه می‌گردد (Soriano, 2000) و ضریب اطمینان پی ساختمان همسایه در شرایط جدید محاسبه می‌شود. اگرچه هر دو دیدگاه پایداری و تغییر شکل اهمیت دارند ولی معمولاً دیدگاه کنترل پایداری برای گودبرداری‌های مجاور ساختمان همسایه بحرانی نیست زیرا گسیختگی شیروانی مجاور گود اغلب زمانی اتفاق می‌افتد که تغییر شکل زیادی بروز کرده است. بنابراین ساختمان مجاور گود قبل از رسیدن شیروانی به گسیختگی دچار نشست‌های اضافی می‌شود و صدمه می‌بیند. به بیان دیگر در گودبرداریه‌های مجاور ساختمان همسایه باید نشست‌ها را کاملاً محدود کرد. در بسیاری از پروژه‌ها قبل از گسیختگی شیروانی خاکی اثرات تغییر شکل خاک در ساختمان همسایه دیده می‌شود. دیدگاه کنترل پایداری معمولاً برای گودهای معمولی که در مجاورت ساختمان یا تأسیسات آب و برق و گاز و نظایر آن قرار ندارند، تعیین کننده هستند. اصولاً پایداری در مسائل ژئوتکنیکی وقتی بحرانی است که محدودیت نشست و تغییر شکل تعیین کننده نباشند. البته برخی خاک‌های سخت رفتار بسیار ترد و شکننده ای بروز میدهند و گسیختگی شیروانی‌های آنها بصورت ناگهانی و با تغییر شکل کم اتفاق می‌افتد. در این حالت هم کنترل پایداری بحرانی است. تیرک‌های مایل معمولاً نقش کمتری در کنترل پایداری کلی شیروانی خاکی دارند. این تیرک‌ها موجب نوعی توزیع مجدد تنش‌ها و نیروها می‌گردند و بار را از ساختمان همسایه به کف گود منتقل می‌کنند که باید مطالعه شوند.

کنترل تغییر شکل باید با کنترل توأم "نشست قائم" و "تغییر مکان افقی" انجام شود. نگاه متداول کنترل تغییر شکل ساختمان به معنی کنترل نشست قائم است. مراجع طراحی و کتب درسی معمولاً مقادیری را فقط برای نشست مجاز قائم ارائه می‌کنند (Bowles 1996). اگر گودبرداری موجب نشستی بیشتر از مقدار مجاز در ساختمان همسایه شود، موجب صدمه به آن می‌گردد. دیدگاه ساده کنترل تغییر شکل که فقط بر اساس کنترل نشست قائم قرار دارد، برای مطالعه مکانیزم عملکرد تیرکهای مایل در گودبرداریهایی سنتی کافی نیست. ساختمانی که در مجاورت گود قرار دارد، علاوه بر تغییر مکان قائم دچار تغییر مکان افقی هم می‌شود. این تغییر مکان افقی بخصوص در حالت غیر یکنواخت به تنهایی برای صدمه زدن به ساختمان کافی می‌باشد. بنابراین لازم است کنترل تغییر شکل با کنترل نشست قائم و تغییر مکان افقی ساختمان همسایه بصورت توأم انجام گیرد. در شناخت مکانیزم عملکرد تیرک مایل نباید فقط به نشست قائم ساختمان همسایه توجه شود، بلکه تغییر مکان افقی هم باید مورد بررسی قرار گیرد.

اگرچه کنترل توأم نشست افقی و قائم به نظر ساده می‌آید لیکن برای کارهای عملی نیاز به مقادیر کمی مجاز می‌باشد. مسأله مهم معیارهای کمی در نظر گرفتن تغییر شکل‌های قائم و افقی مجاز بصورت توأم است. اگرچه آیین‌نامه‌ها و مراجع مختلفی برای تعیین مقدار مجاز نشست قائم بصورت نشست کل و نشست غیر یکنواخت وجود دارد، لیکن مقادیر مجاز نشست قائم و افقی بصورت توأم چندان مورد توجه آیین‌نامه‌ها و مراجع قرار نگرفته است. جستجوی مؤلف و دانشجویان در سالهای تحقیق در این خصوص منجر به یافتن فقط دو کار اصلی قابل استفاده در کارهای عملی از بوسکاردین و کوردینگ (Boscardin and Cording, 1989) و همچنین (Mair, 1989) گردیده است.

بوسکاردین و کوردینگ (Boscardin and Cording, 1989) با استفاده از نتایج تحقیقات دیگران در زمینه خرابی ساختمانها بر اثر معدنکاری، تونلسازی و گودبرداری در مناطق شهری به یک جمع‌بندی در مورد تخمین خسارتهای ساختمان در اثر تغییر مکانهای قائم و افقی پی‌ها رسیدند. آنها از مدل تیر ساده عمیق و مفهوم کرنش کششی حدی در تیر استفاده کردند. منحنی‌های ارائه شده توسط بوسکاردین و کوردینگ علاوه بر اینکه در مرجع اصلی آمده است، توسط ناسخیان (1382) نیز بازنویسی گردیده و قابل مراجعه می‌باشد. روابط بوسکاردین و کوردینگ برای مقادیر مجاز تغییر شکل قائم و افقی بر اساس دوران نسبی قرار دارند و کار کردن با آنها در کارهای عملی مشکل است.

در این مقاله برخلاف کارهای قبلی (حسینی لواسانی 1375 و ناسخیان 1382) منحنی‌های دیگری برای مقادیر مجاز کنترل توأم نشست افقی و قائم ذکر می‌شود. در سالهای اخیرتر منحنی‌هایی مطابق شکل (5) بر اساس نسبت تغییر شکل (Δ/L) و کرنش افقی (ϵ_h) ارائه گردید (Mair, 1989) که کار کردن با آنها ساده‌تر است. نسبت تغییر شکل (Δ/L) در هر نقطه در واقع حاصل تقسیم نشست قائم آن نقطه (Δ) به طول محدوده مورد بررسی (L) است. معمولاً حداکثر (Δ/L) برای کنترل خرابی بکار می‌رود و این مقدار در فاصله بین ستون مجاور گود و ستون ماقبل آن اتفاق می‌افتد. اگر فاصله دو ستون برابر با L و حداکثر اختلاف نشست بین دو ستون Δ باشد، آنگاه نسبت تغییر شکل (Δ/L) براحتی محاسبه می‌گردد.

کرنش افقی (ϵ_h) به میانگین کرنش افقی بین دو نقطه در اثر حرکت افقی غیر یکنواخت آن دو نقطه گفته می‌شود. برای مثال اگر دو ستون 1 و 2 که به فاصله L و در مجاور هم هستند، به ترتیب به اندازه h_1 و h_2 به طرف گود حرکت افقی داشته باشند آنگاه داریم :

$$\epsilon_h = \frac{h_1 - h_2}{L}$$

شکل (5) نشان دهنده محدوده‌های خرابی با درجات مختلف است. خرابی با درجه صفر قابل صرفنظر و خرابی با درجه 1، 2 و 3 به ترتیب به معنی خیلی کم، کم و متوسط می‌باشد. خرابی‌های با درجه 4 الی 5 به معنی خرابی شدید تا خیلی شدید می‌باشند. کرنش کششی حدی در خرابی با درجه صفر کمتر از 0.05 درصد ولی در حالت خرابی با درجه 4 الی 5 بیش از 0.3 درصد می‌باشد (Mair, 1989).

شکل (5) در واقع نشست قائم و تغییر شکل افقی را به ترتیب با نسبت تغییر شکل (Δ/L) و کرنش افقی (ϵ_h) نشان می دهد. همانطور که در این شکل دیده می شود، افزایش هر یک از مقادیر نشست قائم یا تغییر شکل افقی به تنهایی می تواند موجب خرابی شود. ضمناً اثر توأم تغییر شکل قائم و افقی در این شکل دیده می شود. اگر بتوان مثلاً تغییر شکل افقی را به تنهایی کاهش داد، حتی اگر نشست قائم ساختمان تغییر نکرده باشد، میزان خرابی می تواند کم شود و شرایط بهتری بوجود آید.

مدل سازی عددی مراحل گودبرداری و نصب تیرک ها در حالت دو بعدی با فرض رفتار خطی خاک توسط حسینی (1375) انجام گردید و سپس مدل های عددی دقیق تری با فرض رفتار الاستوپلاستیک خاک (ناسخیان 1382) ارائه شد. مدلسازی عددی با طیف وسیعی از متغیرها و در شرایط گوناگون انجام گردید. ارائه نتایج کامل مدلهای الاستیک (حسینی لواسانی 1375) و مدلهای الاستوپلاستیک (ناسخیان 1382) به همراه تشریح مبسوط روندهای مشاهده شده در رفتار مدلها (فاخر 1382) در این مقاله نمی گنجد. در تمام مدلها با تغییر متغیرهای مکانیکی مفروض ملاحظه گردید که بخشی از بار قائم ساختمان از طریق تیرک مایل به کف گود منتقل می شود. اگر اتصال تیرک مایل و ساختمان همسایه مناسب باشد، تنش قابل ملاحظه ای در کف گود در محل اتصال تیرک ملاحظه می گردد. ضمناً تغییر مکان افقی ساختمان توسط تیرک تا حدود زیادی محدود می شود. تیرک افقی به مراتب بهتر از تیرک مایل در کنترل حرکت افقی عمل می کند. براساس تحقیقات قبلی مکانیزم عملکرد تیرک مایل در گودبرداری های سنتی مجاور ساختمان همسایه به شرح ذیل جمع بندی می گردد.

الف) بخشی از بار ستون یا دیوار کناری ساختمان همسایه از طریق تیرک مایل به کف گود منتقل می شود لذا بار کمتری به خاک زیر پی وارد می گردد. بنابراین مقدار نشست قائم پی ها کم می شود. البته این موضوع در افزایش ضریب اطمینان باربری پی نیز مؤثر است.

ب) تیرک مایل به دلیل ایجاد قید جانبی موجب کاهش تغییر مکانهای افقی گود و ساختمان همسایه و در نتیجه محدود کردن کرنش کشتی می شود. همانطور که قبلاً ذکر شد، محدود کردن کرنش افقی به تنهایی نیز برای کاهش صدمه به ساختمان همسایه مؤثر است.

تیرک افقی در واقع حالت خاص تیرک مایل است که زاویه صفر درجه با افق می سازد. مکانیزم (الف) در حالت تیرک افقی وجود ندارد و فقط مکانیزم (ب) در این حالت عمل می کند. به بیان ساده تیرک های افقی فقط با محدود کردن کرنش افقی ساختمان همسایه موجب کاهش صدمه به آن می شوند. مکانیزم های (الف) و (ب) بصورت توأم در تیرک های مایل همواره وجود دارند و در واقع از مزایای تیرک های مایل محسوب می شوند ولی علاوه بر اینها باید به نقش منفی تیرک های مایل هم توجه کرد. تیرک مایل در واقع تکیه گاهی در زیر ستون یا دیوار کنار گود بوجود می آورد. این تیرک برای تحمل بارهای قائم مفید است ولی اگر کف گود در اثر خاکبرداری متورم شود، بالا آمدگی کف گود از طریق تیرک مایل به ستون کناری ساختمان همسایه منتقل می شود و موجب افزایش پیچش زاویه ای بین ستون لبه گود و سایر ستونها می گردد.

3- بررسی های کاربردی

3-1 مقایسه روشهای مختلف نصب تیرک

با مشاهده در سطح شهر می توان دریافت که روش یکسانی برای اجرای تیرک وجود ندارد. در بعضی جاها گود کاملاً بطور قائم برداشته می شود و بعد از آن تیرکها نصب می گردند. ضمناً محل اتصال تیرک به ساختمان ثابت نیست و در بعضی اوقات دیده شده است که تیرک بصورت غیراصولی در وسط دیوار آجری غیر باربر نصب شده است. در مواردی نیز نصب تیرک به محل اتصال ستون به شالوده ساختمان و یا سقف طبقه اول و گاهی اوقات تیرک به وسط ستون متصل می شود. در مواقعی که عرض گود کم باشد اغلب تیرکهای مایل نصب نمی گردند و در صورتی که ستونهای ساختمانهای مجاور در طرفین گود، مقابل یکدیگر قرار گرفته باشند، از تیرکهای افقی استفاده می گردد.

بطور کلی از نظر ترتیب خاکبرداری و نصب تیرکها می توان الگوهای مختلف گودبرداری سنتی در تهران را بصورت زیررده بندی کرد:

روش 1- شیار به عمق گودبرداری در امتداد عمود بر دیوار ساختمان همسایه در زمین حفرمی گردد و بتن ریزی پی تیرکها با بتن مگر همراه با نصب تیرکها انجام می شود. سپس خاکبرداری بطور کامل انجام می گیرد. این روش برای گودهای کم عمق است.

روش 2- در حدود نصف عمق گود بدون نصب تیرک بطور قائم برداشته می شود و سپس همانند روش اول تیرکها نصب شده و بقیه خاکبرداری پس از نصب تیرکها انجام می شود.

روش 3- خاکبرداری از همان ابتدا بصورت شیبدار انجام می گیرد و قسمتی از خاک دور تا دور گود باقی گذاشته می شود سپس پی تیرکها در کف گود اجرا می شود و تیرکها نصب می گردند. به دنبال آن شیب باقی گذاشته شده در این مرحله حفاری می شود. در این حالت بر خلاف دو الگوی قبلی احتیاجی به حفر شیار یا چاه برای نصب تیرک پیش از گودبرداری نیست.

بطور کلی در سه روش مطرح شده اختلافهایی وجود دارد که لازم است مزیت و ویژگی آنها با مدلسازی مورد ارزیابی قرار گیرد. ارائه جزئیات مدل های الاستیک (حسینی لواسانی 1375) و مدل های الاستوپلاستیک (ناسخیان 1382) به همراه روندهای مشاهده شده در مدلها (فاخر 1382) در این مقاله نمی گنجد زیرا هدف اصلی این مقاله ارائه توصیه های کاربردی است. در مدلسازیهای عددی مذکور هشت الگوی نشان داده شده در شکل (6) در نظر گرفته شدند تا علاوه بر سه روش مذکور در بالا برخی روشهای احتمالی جدید هم بررسی شود.

الگوی 1- تیرک مایل متصل به سقف اول قبل از گودبرداری: تیرک مایل به سقف طبقه اول سازه مجاور گود متصل می شود و سپس گود بصورت قائم برداشته می شود. فاصله پای تیرک از دیواره گود 0.45 عمق حفاری می باشد.

الگوی 2- تیرک مایل متصل به پی قبل از گودبرداری: تیرک مایل به زیر پی ساختمان همسایه متصل می شود. در مرحله بعدی حفاری انجام می شود. هیچگونه فاصله ای بین پی ساختمان همسایه و لبه گود وجود ندارد.

الگوی 3- تیرک مایل متصل به پی پس از گودبرداری مرحله اول: در مرحله اول نیمی از خاکبرداری انجام می شود، سپس تیرک متکی به زیر پی ساختمان و کف گود، اضافه می شود و در مرحله آخر نیمه باقی مانده خاکبرداری می گردد.

الگوی 4- تیرک مایل متصل به سقف طبقه اول پس از گودبرداری مرحله اول: تیرک مایل پس از برداشتن نیمی از خاک گود با شیب 90 درجه، به سقف طبقه اول ساختمان همسایه متصل می شود.

الگوی 5- تیرک مایل متصل به پی پس از گودبرداری شیبدار: در ابتدا گودبرداری با شیب انجام می گیرد بطوریکه عرض گوه باقی گذاشته شده برابر با 0.45 ارتفاع گود باشد، سپس تیرک مایل نصب شده و در مرحله آخر گوه خاکبرداری می شود.

الگوی 6- تیرک مایل متصل به سقف طبقه اول پس از گودبرداری شیبدار: همانند الگوی پنجم عمل می شود با این تفاوت که تیرک به سقف طبقه اول سازه همسایه متصل است.

الگوی 7- تیرک افقی متصل به پی دو ساختمان طرفین گود: به منظور بررسی اثر تیرکهای افقی این الگو مطالعه گردیده است. دو سازه مشابه همدیگر در دو طرف گود وجود دارند که در ابتدا تیرک افقی اتصال دهنده شالوده های دو ساختمان نصب می شود و سپس گودبرداری انجام می گیرد.

الگوی 8- شناژ: با توجه به قیدهای آیین‌نامه‌ای در مناطق لرزه‌خیز بایستی در دو جهت عمود بر هم، هر شالوده به شالوده مجاور با شناژ متصل شود. لذا ممکن است شناژ اثری همانند تیرکهای افقی داشته باشد الگوی شماره هشت بدین نحو مطالعه گردید که شناژ نیز مدلسازی شود و گودبرداری بصورت قائم انجام گیرد.

در این بررسیها از اتصال غیر اصولی تیرک مثل اتصال به دیوار غیر باربر صرفنظر شده است و فقط حالات اصولی مورد مطالعه قرار گرفته است. به بیان دیگر فرض می‌شود که اتصال از مقاومت کافی برای انتقال نیرو بخصوص در جهت قائم برخوردار است.

3-1-1- تأثیر محل اتصال تیرک مایل قبل از گودبرداری اولیه

دو الگوی 1 و 2 از هر نظر به غیر از محل نصب تیرک مشابهند. حداکثر تغییر مکان جانبی الگوی 2 در عمق اتفاق افتاده است و نیمرخ تغییر مکان افقی دیواره گود به شکل مشابه شکم است. در الگوی شماره 1 تغییر مکان جانبی بالای گود حداکثر است و در آن در مقایسه با وقتی که تیرک به زیر پی نصب شده تغییر مکانهای جانبی زیادی بوجود می‌آید. کرنش کششی افقی زیر پی در حالتی که تیرک به سقف طبقه اول متصل گردیده به خوبی کنترل نمی‌شود.

از لحاظ اختلاف تغییر شکل‌های قائم و معیار دوران زاویه‌ای، الگوی 2 ضعیف‌تر از الگوی 1 می‌باشد بگونه‌ای که اختلاف تغییر مکان قائم پی‌ها در الگوی 2 بیشتر است و نیمرخ سطح زمین در الگوی 1 هموارتر می‌باشد. این اختلاف بدین خاطر بوجود می‌آید که در الگوی 2 تیرک مایل بصورت تکیه‌گاه نسبتاً صلبی زیر پی قرار دارد و پس از گودبرداری خاک کف گود دچار تورم ناشی از باربرداری شده و این تورم از طریق تیرک به ستون ساختمان همسایه انتقال پیدا می‌کند، در صورتیکه پی مجاور آن اثر کمتری از تورم کف گود دریافت می‌کند. اگر مقداری از خاک در مرحله نخست برداشته شود و کف گود مقدار زیادی از تورم خود را انجام دهد، تیرک مایل متصل به زیر پی ساختمان چنین اثر بدی بر روی تغییر مکانهای قائم سطح زمین و پی ساختمان نخواهد داشت. در عمل گودبرداری به صورت مرحله‌ای صورت می‌گیرد و این اثر کمتر می‌شود.

3-1-2- تأثیر محل اتصال تیرک مایل پس از گودبرداری اولیه

هندسه‌های الگوی 3 و 4 به جز محل نصب تیرک مشابه یکدیگرند. در ضمن می‌توان این دو الگو را از جهاتی با دو الگوی 1 و 2 مقایسه کرد. تغییر شکل‌های جانبی دو الگو بخاطر محل نصب تیرک با یکدیگر تفاوت دارند بگونه‌ای که کرنش کششی در موقعی که تیرک به سقف طبقه اول متصل شده است بخوبی کنترل نمی‌گردد. الگوی شماره 3 نسبت به 2 و الگوی 4 نسبت به 1 تغییر مکانهای جانبی بیشتری می‌دهند زیرا قسمت بیشتری از خاک قبل از نصب تیرک برداشته شده و ساختمان بیشتر به سمت داخل گود حرکت می‌کند.

نیمرخ سطح زمین هر چند در دو الگوی 3 و 4 یکنواخت و هموار می‌باشد ولی در الگوی 4 امکان نشست پی لبه گود بیشتر از الگوی 3 می‌باشد که این امر مطلوب نیست. در ضمن در الگوی 3 ایراد الگوی 2 در مورد بزرگ بودن دوران زاویه‌ای در لبه گود برطرف می‌شود. یعنی اگر معیار نشست کل برای ساختمان مجاور بحرانی نباشد بهتر است تیرکها را پس از گودبرداری اولیه و در محل پی نصب کرد.

3-1-3- تأثیر محل اتصال تیرک مایل در گودبرداری دو مرحله‌ای شیبدار

در الگوی شماره 6 کرنش کششی به نحو مطلوبی کنترل نمیشود. حداکثر تغییر شکل جانبی جداره در بالای گود و زیر پی بوجود می‌آید. شکل و نحوه تغییرات نیمرخ سطح زمین در الگوی 3 با 5 مشابه هستند. همچنین الگوی 4 با 6 مشابهند. البته خاکبرداری شیبدار در الگوهای 5 و 6 از لحاظ سهولت اجرایی مخصوصاً در نصب تیرک مزیت بیشتری دارد.

3-2- اثر شناژ و تیرک افقی

نصب اعضای سازه‌ای افقی در مهار کردن تغییرشکلهای جانبی نقش بسزایی دارد. از آنجا که مقدار خرابی تابع نشست قائم و تغییرمکان افقی به‌صورت توأم است، تیرک افقی با کاهش تغییرمکان افقی موجب بهبود شرایط می‌گردد. ولی این اعضا نمی‌توانند بار قائم ستونهای ساختمان را به کف گود منتقل کنند. اگر به هر دلیلی خاک زیر شالوده ساختمان خالی یا سست شود خطرناک است.

شکل کلی تغییرمکانهای بدست آمده در الگوی شماره 7 بسیار شبیه به الگوی شماره 3 و 5 می‌باشد. ولی در کل حجم خاکی که از دیواره گود بیرون زده است و یا به عبارتی سطح زیر منحنی تغییرمکان جانبی در الگوی شماره 7 نسبت به الگوهای شامل تیرک مایل بیشتر می‌باشد و حداکثر تغییرمکان افقی افزایش داشته است. البته چنانچه بتوان این روش را بدین نحو اصلاح کرد که حین عملیات خاکبرداری و پیشروی در عمق، نصب اعضای افقی جدید انجام گیرد، می‌توان تغییرمکانهای جانبی را به نحو مطلوبی کنترل کرد.

وجود شناژ هر چند نسبت به الگوهای 1 و 4 و 6 می‌تواند تغییرمکان جانبی پی ساختمان را تا حدودی کنترل کند ولی به تنهایی به این سیستم نمی‌توان اعتماد کرد. از آنجا که حجم زیادی از خاک به سمت داخل گود حرکت می‌کند نشست نسبتاً قابل ملاحظه‌ای را در نیمرخ سطح زمین نسبت به الگوهای دیگر شاهد هستیم. به هر حال وجود شناژ در ساختمان خود عامل موثری در کاهش کرنش کششی زیر پی می‌باشد.

3-3- مقایسه تغییرمکان در الگوهای مختلف

مطالعه تغییر شکل گود با اینه کلاسیک (Ou and Hsieh, 1998) در مراجع مختلف بین المللی آمده است. در این بررسی ارائه شده در این مقاله نیز با رسم نیمرخ تغییرمکان قائم سطح زمین و تغییرشکلهای جانبی گود برای تمام الگوها بطور کلی نتایج زیر حاصل شد.

- ارتباط مستقیمی بین حجم خاک بیرون زده در راستای افقی از دیواره گود با سطح زیر منحنی تغییرشکلهای روی زمین وجود دارد. به عبارتی هر چه حجم خاک بیرون زده در راستای افقی از جداره گود بیشتر باشد متناظر با آن نشست قائم بیشتری در سطح زمین پدیدار خواهد شد.

- نیمرخ تغییرشکل سطح زمین در محدوده‌ای از لبه گود که برابر عمق گود باشد تحت تاثیر الگوهای مختلف گودبرداری قرار می‌گیرد و به عبارتی در محدوده $X > H$ (X فاصله از لبه گود، H عمق گودبرداری) نیمرخهای تغییرشکل سطح زمین در الگوهای مختلف گودبرداری بر یکدیگر منطبق میشوند.

- به غیر از الگوهای 1 و 4 و 6 و 8 که عملاً جلوی تغییرمکان جانبی گرفته نمیشود، در بقیه حالات نیمرخ تغییر مکان دیواره از نوع شکمی شکل می‌باشد و موقعیت حداکثر تغییرمکان نیز ثابت است.

- به نظر میرسد از میان الگوهای بررسی شده، الگوی 2، 3 که تیرک مایل به پی ساختمان همسایه نصب می‌شود و همچنین الگوی 5 مناسبتر است. ولی به‌طور کلی ترکیبی از این الگوها می‌تواند اطمینان‌بخش‌تر باشد. با تیرک افقی جلوی کرنش کششی گرفته می‌شود و تیرک مایل بعنوان یک سیستم مشابه روش پی‌بندی، بارستون را به کف گود انتقال می‌دهد لذا ترکیب این دو بسیار مناسب است.

- اگر مقدار حاشیه خاکی باقی گذاشته شده در گود برداری مرحله اول ناچیز باشد عملاً نصب تیرک نمی‌تواند کرنش کششی را بخوبی کنترل نماید و پیش از زوایای شدیدی نیز در لبه گود پدید می‌آید. از طرف دیگر وقتی $X1$ (فاصله افقی پی از لبه گود) به 25 درصد عمق گود می‌رسد تغییرشکلهای سطح زمین هموارتر شده و تغییرمکان افقی پی به سمت گود کاهش پیدا می‌کند.

- اگر حاشیه خاکی به‌جامانده از مرحله اول گود برداری بصورت مثلثی باشد، تغییر مکان جانبی دیواره گود بهتر کنترل می‌گردد و افتادگی سر گود نیز که در مرحله اول مشاهده می‌شود به نحو مناسبی در مرحله دوم و پس از نصب تیرک جبران می‌گردد.

- برای کنترل بهتر دو معیار کرنش کششی و پیچش زاویه‌ای بهتر است حفاری در مرحله اول تا کف گود بصورت شیبدار و با فاصله از لبه پی ساختمان انجام شده و سپس تیرک مورب نصب گردد.

3-4- اثر برخی متغیرهای مهم

با توجه به بررسی‌های انجام شده در تحقیقات قبلی، با مطالعه اثر متغیرهای مهم شامل مشخصات هندسی و مشخصه‌های مکانیکی بر روی رفتار و مکانیزم این الگوی گودبرداری، شناخت بیشتری بدست آمد. جزئیات نتایج حاصل از مطالعه پارامتریک در گزارش کامل تحقیق (فاخر 1382) آمده است و ارائه کامل آنها در این مقاله ضرورت ندارد زیرا روند تأثیرات مشاهده شده بیش از مقادیر کمی اهمیت دارد.

3-4-1 اثر چسبندگی خاک (C)

بر اساس مطالعات قبلی روی خاک تهران (پهلوان 1381) مقادیر چسبندگی خاک در یک بازه مشخص به صورتی انتخاب گردید که محیط توده خاک از حالت الاستیک در تغییرشکلهای کوچک تا گسیختگی و تغییرشکلهای بزرگ موردبررسی قرار می‌گیرد. نتایج حاصل در اینجا آمده است:

- با توجه به اینکه میزان تغییرشکل بیشتر وابسته به E می‌باشد، تغییر چسبندگی خاک تا قبل از آستانه گسیختگی تأثیر چندانی در میزان کرنش کششی ندارد. در حالیکه پس از گذر از آستانه گسیختگی، تغییرشکل به وجود آمده زیاد و غیر قابل کنترل می‌شود. به عبارت دیگر در حالت‌هایی که گودبرداری بدون حاشیه خاکی انجام می‌شود، گسیختگی ترد و ناگهانی است. در حالیکه وجود یک حاشیه خاکی باعث می‌شود گسیختگی به صورت تدریجی صورت گیرد.

- استفاده از تیرک مایل در افزایش ضریب اطمینان در برابر گسیختگی گود موثر است. اگر تغییرات نیروی تیرک را برحسب نسبت عمق گود به چسبندگی خاک در نظر بگیریم، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در صورت دور بودن از آستانه گسیختگی (کوچک بودن عمق گود)، مقداری از بار ستون توسط توده خاک حمل شده و بقیه آن نیز به وسیله تیرک مایل به کف گود انتقال می‌یابد. در حالیکه با گذر از مرز گسیختگی (بزرگ شدن عمق گود) تمامی نیروی وارده توسط تیرک حمل می‌شود.

3-4-2 اثر مدول الاستیسیته خاک (E)

تغییرات مدول الاستیسیته خاک تهران با تنش همه جانبه و کرنش از مدل ویژه ای تبعیت می‌کند (حمداللهی 1384) که در تحقیق ارائه شده در اینجا جهت سادگی از آنها صرف نظر شده و در هر تحلیل مقدار ثابتی برای مدول الاستیسیته خاک فرض شده است. کرنش کششی و پیچش زاویه‌ای با مدول الاستیسیته خاک نسبت معکوس دارند. در محدوده مدولهای الاستیسیته کوچک، عملکرد تیرکهای مایل در کاهش کرنش کششی موفقیت آمیز است ولی در خاکهای سخت و متراکم اثر این تیرکها کمتر می‌باشد. به بیان دیگر در خاکهای با تراکم پایین سهم باری که هر تیرک مایل به کف گود انتقال می‌دهد، نسبت به خاکهای متراکم و سخت بیشتر است. البته در خاکهای کم تراکم وجود تیرک مایل اثر بدی بر مقدار پیچش زاویه‌ای می‌گذارد و ساختمان مجاور گود در معرض خسارتهای شدید قرار می‌گیرد. در نتیجه سیستم تیرک مایل عملکرد چندان مطلوبی در این نوع خاکها ندارد. از طرفی در خاکهای با تراکم خیلی بالا عملاً استفاده از تیرک چندان تأثیرگذار نمی‌باشد.

میزان تغییرشکل جانبی با افزایش سختی یا مدول الاستیسیته خاک، کاهش می‌یابد. همچنین با مقایسه تغییرشکلهای مرحله اول و دوم می‌توان گفت در حالتی که مقداری از خاک در جلوی گود باقی گذاشته شده باشد (مرحله اول)، حداکثر تغییرشکل جانبی نسبت به مرحله دوم یعنی پس از نصب تیرک مایل، به صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد. اگر چه نرخ این تغییرات در هر دو روش یکسان می‌باشد.

3-4-3 اثر عمق گود

در گودهای کم عمق با افزایش عمق میزان کرنش کششی افزایش می‌یابد. در این حالت میزان کرنش کششی در مرحله دوم، بیشتر از مرحله اول می‌باشد. در صورتیکه در گودهای عمیقتر میزان اثر تیرک بر کرنش بیشتر شده و باعث می‌شود کرنش کششی مرحله دوم نسبت به مرحله اول کاهش یابد.

تغییرات پیچش زاویه‌ای با افزایش عمق گود صعودی می‌باشد، اگر چه نرخ تغییرات پیچش زاویه‌ای با افزایش عمق کاهش می‌یابد. نسبت باربری تیرک مایل با افزایش عمق گود، به صورت خطی افزایش می‌یابد.

در گودهای کم عمق تغییرات حداکثر تغییر شکل جانبی نسبت به عمق نزولی و در گودهای عمیق روند صعودی نشان می‌دهد. علت این اختلاف عوض شدن شکل نیمرخ تغییر مکانهای جداره گود می‌باشد که در گودهای کم عمق به صورت طره‌ای و در گودهای عمیق به شکل شکمی خواهد بود. به بیان دیگر، حداکثر تغییر مکان در گودهای کم عمق در بالا و در گودهای عمیق در میان ارتفاع گود اتفاق می‌افتد. ولی به هر حال مقدار و نرخ تغییرات حداکثر تغییر شکل جانبی پس از حذف حاشیه خاکی افزایش می‌یابد.

3-4-4 اثر بار ستون

از تحلیل‌های انجام گرفته بدست آمد که با افزایش بار ستون، تغییرات کرنش کششی در زیر شالوده ساختمان چه قبل از نصب تیرک و چه بعد از آن به صورت افزایشی می‌باشد. ولی با افزایش مقدار بار ستون کنار گود، میزان نسبت باربری تیرک به بار ستون کاهش یافته و به یک عدد ثابت میل می‌کند که مقدار آن با توجه به مشخصات ثابت مساله تعیین می‌شود. در محدوده متغیرهای تحقیق قبلی مولف این عدد ثابت، تقریباً برابر 0.5 می‌باشد. واضح است که با برداشت حاشیه خاکی اطراف گود، تغییر مکان جانبی دیواره تا دو برابر افزایش می‌یابد ولی نرخ تغییرات آن نسبت به تغییر بار ستون روند کندی را دارد.

3-4-5 اثر فاصله پی ساختمان از لبه گود

همانگونه که قبل از این بحث شد باقی گذاشتن یک حاشیه خاکی ($X1$) قبل از نصب تیرک بسیار موثر می‌باشد. در این مطالعه تغییرات مقادیر کرنش کششی، پیچش زاویه‌ای، حداکثر تغییر شکل جانبی و میزان باربری تیرک نسبت به تغییرات متغیر بی‌بعد $X1/H$ که در آن H عمق گود می‌باشد بررسی گردیده است. با توجه به تحلیل‌هایی که شرح آنها در گزارش کامل تحقیق حاضر آمده است (فاخر 1382)، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که چنانچه $X1$ صفر باشد و یا به عبارتی گودبرداری از لبه پی ساختمان همسایه و شیبدار شروع شود مقادیر کرنش کششی و پیچش زاویه‌ای در دو حالت قبل و بعد از نصب تیرک تقریباً برابر یکدیگر می‌باشند که این نشان‌دهنده تاثیر کمتر تیرک در این حالت است.

نرخ یا سرعت کاهش مقدار کرنش کششی وقتی که عرض حاضیه خاکی ($X1$) از صفر تا مقدار برابر با 0.1 ارتفاع گود تغییر می‌کند بسیار تند است و بعد از آن عملاً تغییرات کاهش کرنش کششی کند می‌شود. این حداقل مقدار حاشیه خاکی از لحاظ اجرایی و هم از لحاظ کنترل معیارهای نگهداری ساختمان کنار گود منطقی بنظر می‌رسد. حاشیه خاکی بیش از 0.25 ارتفاع گود نیز منطقی نیست.

عرض حاشیه خاکی بر میزان نسبت باربری تیرک به بار ستون هم مؤثر است و بطور متوسط تقریباً نصف بار ستون توسط تیرک تحمل می‌شود و مابقی توسط خاک انتقال می‌یابد.

3-4-6 اثر شیب حاشیه خاکی

شیب حاشیه خاکی گودبرداری بعنوان یکی دیگر از متغیرهای هندسی مورد توجه قرار گرفت و نتایجی به شرح ذیل بدست آمد.

- افزایش شیب حاشیه خاکی باعث کاهش کرنش کششی و افزایش پیچش زاویه‌ای می‌شود. عبارتی از یکطرف معیار کرنش کششی را کنترل نموده و از طرف دیگر با بوجود آوردن اختلاف نشست زیر دو شالوده مجاور ساختمان همسایه باعث افزایش خسارت و خرابی وارده به ساختمان می‌شود. لذا در طراحی باید به گونه‌ای شیب را انتخاب کرد که مجموع اثر کرنش کششی و دوران نسبی سطح زمین در حاشیه ایمنی مناسبی قرار گیرد.

- سیستم تیرک مایل با افزایش شیب گودبرداری درصد بیشتری از بارستون را نسبت به خاک زیر پی جذب می‌نماید. زیرا در زمان قبل از نصب تیرک هر چه حجم خاک باقی گذاشته شده، بیشتر باشد تغییر مکانهای کمتری ناشی از گودبرداری اتفاق می‌افتد و پس از نصب تیرک و ادامه عملیات خاکبرداری، سیستم تیرک مایل در جذب تغییر مکانها و نیروها بهتر عمل می‌نماید.

3-4-7- اثر زاویه تیرک متکی به ساختمان

تعیین زاویه تیرک متکی به ساختمان مجاور بعنوان یکی از متغیرهای طراحی سیستم نگهداری ساختمان همسایه در گودبرداری به شمار می‌آید. لذا با تغییر زاویه تیرک در مدل، رفتار سیستم و میزان اثر آن بررسی گردید. با توجه به تغییرات کرنش کششی، دوران نسبی و همچنین میزان نسبت بار برای تیرک مایل به بار ستون در مقابل تغییرات زاویه تیرک ملاحظه گردید که مقدار بهینه‌ای برای شیب تیرک وجود دارد. مقدار بهینه با توجه به هر سه متغیر مذکور تقریباً مشابه است. می‌توان به یک مقدار بهینه برای میزان باربری تیرک با توجه به طراحی زاویه آن رسید. در محدوده متغیرهای این تحقیق خاص محدوده بهینه در شرایطی بدست می‌آید که فاصله افقی پای تیرک مایل از جداره گود بین 0.6 تا 0.8 عمق گود باشد.

4- برخی توصیه‌های اجرایی

(الف) حفاظت سطح دیواره گود با پلاستیک یا گچ مالی توصیه می‌شود. باید شرایطی فراهم باشد تا دیواره گود انسجام خود را پس از گودبرداری از دست ندهد. عواملی از جمله بارندگی، وجود آب زیر زمینی، سیمانته نبودن خاک باعث ریزشهای سطحی و پیش رونده و خالی شدن زیر پی ساختمان مجاور میگردد. و همچنین زهکشی در برخی شرایط توصیه می‌شود.

(ب) سیستم نگهداری ساختمان همسایه با تیرکهای مایل و افقی از مقاومت بسیج شده خاک و اعضا سازه‌ای بصورت ترکیبی بهره می‌برد، لذا باقی گذاشتن یک حاشیه خاکی شیبدار جهت بالا بردن ضریب اطمینان قابل توصیه است. در ضمن پس از گودبرداری باید حاشیه خاکی در عرضهای محدود برداشته و بلافاصله دیوار نگهدارنده دائمی در صورت نیاز ساخته شود و به همین ترتیب بصورت متوالی عملیات اجرایی ساخت دیوار نگهدارنده تا اتمام کار ادامه یابد. پس از اجرای هر قطعه از دیوار میتوان تیرک مایل را حذف نمود.

(ج) چنانچه بخواهیم در گودهای خیلی عمیق نیز از تیرهای مایل استفاده کنیم عرض حاشیه خاکی در کف گود زیاد خواهد بود و عملاً دست و پاگیر می‌باشد و حفاری حاشیه خاکی بعداً با مشکل مواجه و گران خواهد شد. در پروژه‌های بزرگ و با اهمیت که گودهای عمیق برداشته می‌شود توصیه می‌گردد از روشهای متداول ذکر شده در مراجع مثل شمعهای مجاور هم یا دیوار مطابق شکل (1) استفاده شود.

(د) همانطور که گفته شد، یکی از وظایف تیرکهای مایل عبارت از انتقال بخشی از بار قائم به کف گود است. بنابراین اتصال تیرک مایل به ساختمان همسایه باید قادر به انتقال نیروی قائم از ساختمان به تیرک مایل باشد. به بیان دیگر نیروی برشی (در راستای قائم) بین تیرک و ساختمان باید کنترل گردد. بنابراین اتصالاتی با ظرفیت برشی بالا مطابق شکل (7) توصیه می‌گردد. اتصال (الف) تغییر چندانی در دیوار همسایه بوجود نمی‌آورد و فقط کافی است که ملات بین آجرها به اندازه لبه نبشی برداشته شود. اتصال (ب) ساده‌تر است و محل آن را می‌توان

پس از اتمام کار ترمیم کرد. البته اگر تیر مایل به پی ساختمان همسایه متصل باشد، اتصال ساده‌تر می‌شود و کسب اجازه از همسایه نیز ساده‌تر خواهد بود.

(ه) اتصال تیرک مایل به کف گود نیز باید قادر به تحمل نیروی وارد باشد و تغییر مکان آن هم ناچیز باشد. بنابراین نیاز به پی دارد. اگرچه کنترل ظرفیت باربری در برابر نیروی محوری و برشی ضروری است لیکن ضریب اطمینان باید خیلی بزرگتر از مقادیر متداول باشد تا از عدم تغییر شکل بزرگ اطمینان حاصل شود.

(و) با توجه به الگوهای مختلف مطالعه شده توصیه می‌گردد سیستم بکار گرفته شده متداول در تهران که متشکل از تیرک مایل به ساختمان همسایه و کف گود می‌باشد بدین نحو اجرا گردد که حفاری در مرحله اول تا کف گود بصورت شیبدار و با فاصله از لبه پی ساختمان انجام شده و سپس تیرک مورب نصب و بقیه خاک برداشته شود. لازم به ذکر است که بهترین محل اتصال تیرک مایل در واقع پی ساختمان مجاور می‌باشد، ضمن آنکه باید از اتصال تیرک به اعضا غیر باربر ساختمان همسایه پرهیز شود، لطفاً برای درک بهتر علت ارائه این توصیه به مکانیزم ذکر شده برای عملکرد تیرک های مایل در این مقاله مجدداً مراجعه کنید.

(ز) قبلاً گفته شد که حفاری باید حداقل دو مرحله‌ای اجرا شود. حجم خاکبرداری قبل از نصب تیرک بگونه‌ای طراحی گردد که تورم کف، پیش‌پیش زاویه‌ای شدید در پی ساختمان مجاور بوجود نیاورد. علاوه بر این طراحی زاویه تیرک را جهت عملکرد بهینه این سیستم باید مدنظر قرار داد. فاصله پای تیرک از دیواره قائم گود باید چنان انتخاب شود که هر دو معیار دوران زاویه‌ای و کرنش کششی همزمان با یکدیگر در حد مجاز کنترل شوند.

5- نتیجه‌گیری

عملکرد تیرک‌های مایل در گودبرداری مجاور ساختمان همسایه شامل دو بخش مهم "انتقال بخشی از بار قائم ساختمان به کف گود" و "ایجاد محدودیت جانبی جهت کاهش کرنش افقی ساختمان همسایه" است. تیرک‌های افقی حالت خاص تیرک‌های مایل هستند و فقط مکانیزم دوم تیرک‌های مایل یعنی کاهش کرنش افقی ساختمان همسایه در آنها فعال است. در اینجا سعی می‌شود خلاصه نتایج اصلی و کاربردی مقاله ارائه گردد:

(1) تیرک مایل بخشی از بار قائم ساختمان همسایه را به کف گود منتقل می‌کند، بنابر این لازم است تیرک به اعضای باربر ساختمان همسایه مثل ستون و پی متصل گردد. بنحویکه آن عضو باربر نیز بصورت مناسبی به سایر اعضای باربر متصل باشد.

(2) از آنجا که اتصال تیرک به ساختمان همسایه باید تحمل انتقال بار را داشته باشد. برخی اتصالات ساده که در عمل با استفاده از گچ و گوه های چوبی استفاده می‌شود، کارایی لازم را ندارد. چنانچه بتوان از همسایه کسب اجازه نمود، اتصالاتی مشابه شکل (7) برای دیوارهای آجری باربر توصیه می‌گردد.

(3) اتصال تیرک مایل به پی ساختمان همسایه بیش از اتصال به ستون و دیوار باربر موثر است. این موضوع علاوه بر اینکه در تحلیل عددی اثبات شده است، طول تیرک مایل را نیز کاهش می‌دهد و از خطر کماتش آن می‌کاهد.

(4) خاک محل اتصال تیرک مایل به گود نیز باید ظرفیت باربری کافی داشته باشد و نشست آن ناچیز باشد. بنابر این لازم است پی مناسب برای آن در نظر گرفته شود. طرح شماتیک اولیه این پی توسط فاخر (1382) پیشنهاد گردیده است لیکن نیازمند ارزیابی عملی است.

(5) توصیه می‌گردد که گودبرداری بصورت مرحله‌ای انجام شود. بدینصورت که نخست حاشیه خاکی در اطراف گود باقی گذاشته شود و گودبرداری تا نیمی از عمق انجام گیرد. سپس تیرک‌ها نصب شود و بعد گودبرداری تکمیل گردد. نصب تیرک‌ها در مرحله دوم خاکبرداری موجب می‌شود که تورم ناشی از خاکبرداری مرحله اول به تیرک و ساختمان همسایه منتقل نگردد.

تشکر و قدردانی

توصیه‌هایی در بخش اصلی این مقاله برای بهبود گودبرداری‌های سنتی در مجاورت ساختمان همسایه ارائه شده است تا موجب کاهش حوادث ناگوار در این رابطه گردد. لذا بدینوسیله از مسئولین سمینار ساخت و ساز در پایتخت جهت دعوت برای ارائه این توصیه‌ها تشکر می‌شود. مکانیزم عملکرد گودبرداری‌های سنتی با استفاده از تیرک‌های مایل در مجاورت ساختمان همسایه که در ابتدا تشریح شده به نقل از تحقیقات قبلی مولف همراه با دانشجویان کارشناسی ارشد دانشکده عمران دانشگاه تهران و همچنین کار تحقیقی با مساعدت مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن است. بدینوسیله از مساعدتهای مسئولین مرکز تحقیقات ساختمان و همچنین دانشجویان کارشناسی ارشد دانشکده عمران دانشگاه تهران آقایان علی ناسخیان و سیدعلی حسینی لواسانی و خانم سمیه صادقیان که پایان نامه‌های خود را در این زمینه انجام داده‌اند، تشکر می‌شود.

مراجع

پهلوان، بدیل، "مطالعه متغیرهای تغییر شکل‌پذیری آبرفت درشت‌دانه تهران با استفاده از پرسیمتر جهت طراحی پی‌های سطحی"، پایان‌نامه دکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم دانشگاه تربیت مدرس، فاخر علی (راهنما)، خامه چیان (مشاور). 1381.

حسینی لواسانی، سید علی، "گودبرداری مجاور ساختمان همسایه"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی، گروه عمران دانشگاه تهران. فاخر علی (راهنما). 1375.

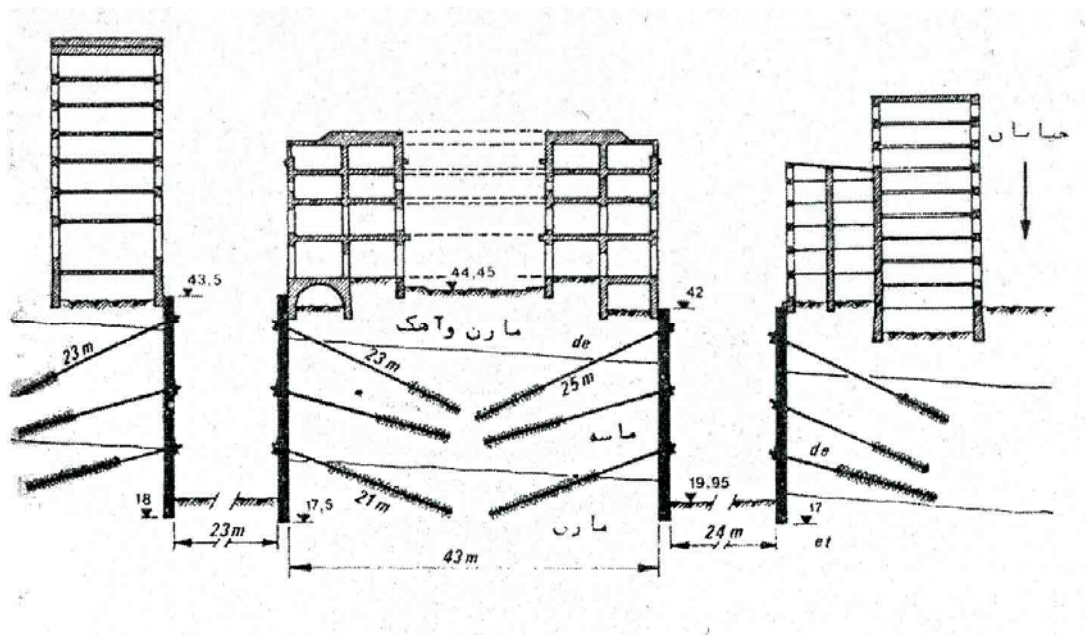
حمدالهی، یداله، "اصلاح مدل فاهی برای خاک درشت‌دانه تهران"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مکانیک خاک و مهندسی پی، دانشکده عمران دانشگاه تهران، فاخر علی (راهنما). پهلوان بدیل (مشاور). 1384.

فاخر، علی، "مطالعه گودبرداری‌های متداول در تهران در مجاورت ساختمان همسایه"، گزارش تحقیقی به مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، 1383.

ناسخیان، علی، "مطالعه رفتار تیرک‌های مورب در گودبرداری‌های متداول در تهران"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی گروه عمران دانشگاه تهران، فاخر علی (راهنما). 1382.

Boscardin, M.D. and Cording, E.G. "Building response to excavation induced settlement", Journal of Geotechnical Engineering, Vol 115, No. 1, PP.1-21, (1989).

- Bowles, J. E., "Foundation Analysis and Design", 5th Edition, Mc Graw-Hill Book Company, New York, (1996)
- Kim, H. M., "Urban excavation and building damage", 11th Asian regional conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Balkema, (2001).
- Mair, R.J., "Geotechnical aspects of design criteria for bored Tunneling in soft ground" , Proceeding of the Word Tunnel Congress 98 on Tunnel and Metropolises, Brazil, Vol.1, PP 183-199, (1989).
- Ou, C. Y. and Hseih, P.G., "Shape of ground surface settlement profiles caused by excavation", Canadain Geotechnical Journal, Vol. 35, PP. 1004-1017, (1998).
- Ou, C. Y. and Liao, J. T. and cheng W. L., "Building response and ground movement induced by deep excavation", Geotechnique, Vol. 50, No. 3, (2000).
- Soriano Pena, A., "Bearing capacity of shallow foundations on sloping ground", Proceedings, International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Turkey, (2000)



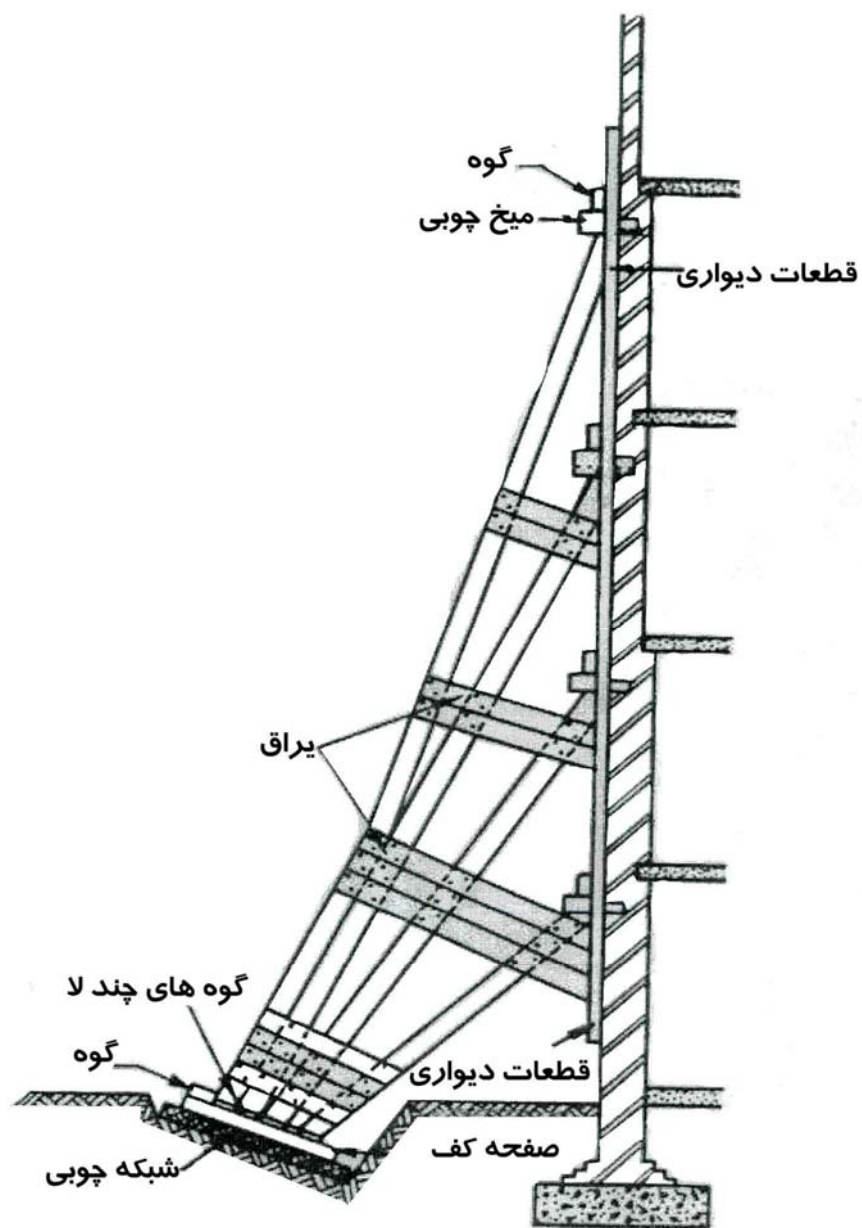
شکل (1) نمونه هایی از دیوار جدا کننده بتنی (یا شمعهای مجاور هم) با میل مهار جهت نگهداری ساختمان همسایه حین گودبرداری



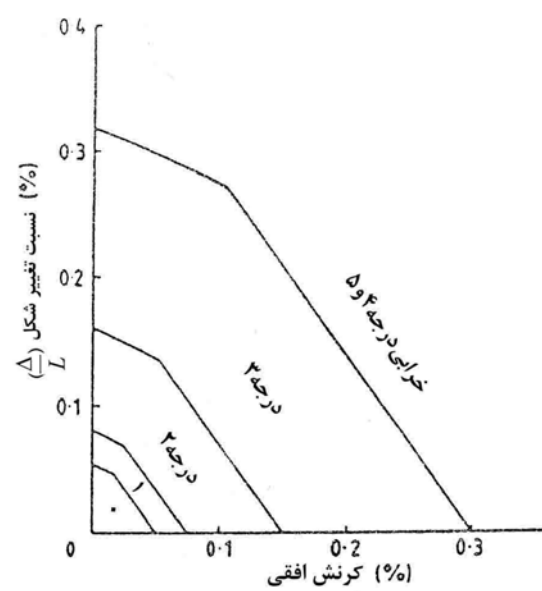
شکل (2) نمونه‌ای از تیرک‌های مایل چوبی جهت نگهداری ساختمان همسایه حین گودبرداری



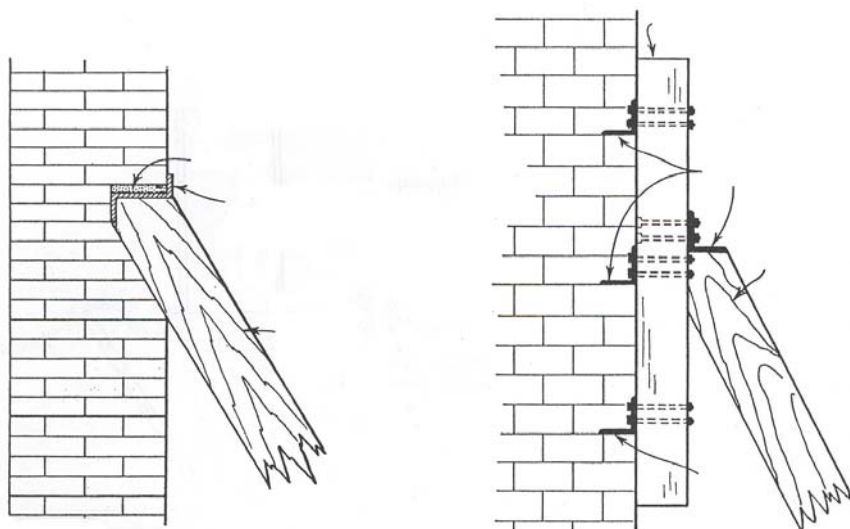
شکل (3) مثالی از بکارگیری تیرک‌های افقی جهت نگهداری ساختمان‌های طرفین گود



شکل(4) مثال نادری از تیرکهای مایل برای نگهداری یک ساختمان پنج طبقه در انگلستان با روش روبندی که در ترکیب با روش پی بندی در سال 1848 میلادی بکار رفت.



شکل (5) منحنی‌های پیشنهادی برای مقادیر مجاز نسبت تغییر شکل قائم و کرنش افقی (Mair, 1989)



شکل (7) دو نوع اتصال پیشنهادی برای تیرک مایل به ساختمان همسایه