



بررسی روشهای متداول پایدارسازی گودبرداری ها در مناطق شهری

مرجان محمودی^۱، دکتر کاظم بر خورداری^۲، دکتر محمود وفاپیان^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی دانشگاه یزد

۲- استادیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه یزد

۳- استاد دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان

marjan_mah22@yahoo.com
kbarkhordari@yazduni.ac.ir
mahmood@cc.iut.ac.ir

خلاصه

تحقیقات در زمینه روشهای متداول گودبرداری در مناطق شهری باعث ارائه راه حلهای ساده، اقتصادی و با ضریب ایمنی بالا می گردد. این مقاله پس از بیان مزایا و معایب روشهای متداول گودبرداری جهت انتخاب گزینه مناسب هر موقعیت، به مدلسازی گودبرداری توسط نرم افزار Plaxis 8.2 بدون هر گونه تقویت و مطالعه پارامتریک می پردازد، ضمن آنکه صحت این نرم افزار نیز کنترل می شود و نتایج Plaxis در زمینه پایداری در مقایسه با نتایج محدود ۵٪-۱۰٪ در جهت اطمینان اختلاف دارد. پس از آن به بررسی مکانیزم عملکرد تیرکهای افقی و مایل-متداولترین روش گودبرداری- پرداخته شده است. نتایج مدلسازیها در مطالعه پارامتریک نشان می دهد که افزایش پارامترهای مقاومتی و سختی خاک و شیب برم باعث کاهش تغییر مکان جانبی دیواره گود و افزایش مدول الاستیسیته سبب کاهش ماکزیم حرکت دیواره گود می شود.

کلمات کلیدی: گودبرداری، پایداری، تغییر مکان، تیرکهای افقی و مایل، تحلیل اجزا محدود

۱. مقدمه

گسترش شهرها موجب اجرای پروژه هایی می شود که نیازمند گودبرداری در مجاورت ساختمان همسایه هستند. روشهای مختلفی برای نگهداری گود و ساختمان مجاور آن در مراجع ذکر شده است- این روشها در ادامه بحث به طور خلاصه بیان می گردد- لیکن روشهای بومی و رایج در هر منطقه به دلیل آشنایی اجرا کنندگان و دسترسی مصالح ترجیح داده می شود.

به طور کلی از دو دیدگاه می توان به مسئله گودبرداری پرداخت:

۱- از لحاظ گسیختگی گود- دیدگاه پایداری

۲- از لحاظ نشست زمین اطراف گود- دیدگاه تغییر شکل

چنانچه حفاری در خارج از شهر صورت گیرد به طوری که اطراف آن مستحذاتی وجود نداشته باشد، دیدگاه دوم مطرح نمی شود و برای تامین امنیت در کارگاه مساله گسیختگی و ناپایداری دیواره گود مطرح است و در حقیقت مساله به دست آوردن ضریب اطمینان شیریانی یا دیواره گود می باشد. در صورتی که گودبرداری در شهر انجام شود و به خصوص ساختمانهای مسکونی با درجه اهمیت بالا در نزدیکی آن قرار گرفته باشند، نه تنها گود باید با ضریب اطمینان کافی پایدار باشد بلکه باید تغییر مکانهای سطح زمین و زیر پی ساختمانهای مجاور به گونه ای کنترل شود تا شرایط بهره- برداری از آنها حین عملیات و پس از آن برقرار باشد.

در بیشتر مناطق ایران که خاک دارای مقاومت نسبی بالا است (دارای چسبندگی حداقلی است) و سطح آب زیرزمینی پایین است، معمولاً گودبرداری با زاویه قائمه انجام می گیرد و برای محافظت ساختمان کنار گود از مهار مایل که یک سر آن متکی به دیوار ساختمان مجاور و سر دیگر آن در کف گود قرار دارد، استفاده می شود.

اغلب این مهاربندی ها به کمک الوارهای چوبی و اتصال آنها به دیوار همسایه (در برخی مواقع حتی اتصال به عضو غیرسازه ای و غیر باربر) به کمک گچ می باشد و پی آنها نیز کاملاً غیر اصولی و سنگ یا آجری است که خود تیرک را نیز در حالتی که هیچ نیرویی به آن وارد نمی شود، به سختی نگه می دارد و این اجرا بیشتر جنبه روانی و صلب مسئولیت دارد و هیچگونه عملکرد سازه ای در راستای پایدارسازی گود و جلوگیری از حرکت جانبی یا نشست قائم ساختمان مجاور نخواهد داشت (شکل ۱) که خود مقوله ای قابل بحث است و در این مقاله نمی گنجد.



شکل ۱- نمونه ای از اجرای غیر اصولی تیرکهای مایل چوبی جهت نگهداری ساختمان همسایه در حین گودبرداری

گام اول جهت کاربرد یک سازه شناخت مکانیزم عملکرد آن جهت طراحی صحیح و سپس اجرای صحیح و اصولی به ترتیبی که حاشیه ایمنی رعایت شود، است. این مقاله پس از بیان برخی روشهای متداول گودبرداری و محدوده استفاده و شرایط انتخاب آنها به بررسی عملکرد تیرکهای افقی و مایل می پردازد.

۲. روشهای متداول پایدارسازی گودبرداری ها

در حال حاضر از روشهای گوناگونی برای پایدارسازی گود استفاده می شود که البته همه آنها اصولی نبوده و نیاز به بررسی دارند. روشهایی که در زیر به آنها اشاره می شود، روشهایی هستند که در برخی از پروژه های مهم مورد استفاده قرار گرفته اند. در اینجا فقط مزایا و معایب و محدوده استفاده آنها جهت انتخاب صحیح بیان می گردد. خوانندگان می توانند جهت اطلاع بیشتر به مراجع [1]، [2] مراجعه نمایند. تعدادی از این روشها فقط در پروژه های خاص کاربرد داشته و در پروژه های کوچک توجه اقتصادی ندارند.

۱، ۲. روش مهارسازی^۱

مزایا

- ۱- مشخصات مکانیکی خاک بر اثر تزریق بتن در درون چاهکها بهبود می یابد و با بهبود پارامترهای مکانیکی خاک، رانش خاک کاهش می یابد.
- ۲- سازه نگهبان در داخل گود جاگیر نیست.
- ۳- از خاک موجود برای مهار دیواره گود استفاده می شود.

معایب

- ۱- استفاده از بدنه خاک مجاور دیواره گود ضروری است، لذا در مواردی که خاک مجاور گود در زیر یک ساختمان یا در حریم همسایه، تاسیسات و یا معابر شهری باشد، نمی توان این روش را به کار برد.
 - ۲- به دلیل مرحله ای بودن عملیات حفاری، این روش نیاز به زمان زیادی دارد که باز هم برای پروژه های درون شهری گزینه خیلی مناسبی نیست.
 - ۳- نیاز به دستگاههای خاص جهت حفر چاهک، تزریق و... همچنین نیاز به افراد با تخصص بالا اجرای عملیات را محدود می کند.
- ۲، ۲. روش دوخت به پشت (میخ کوبی)

مزایا

به علت آنکه عملیات تزریق در خاک صورت می گیرد، خواص خاک بهبود پیدا می کند. با اجرای این روش از خصوصیت های مقاومتی خود خاک برای مهار نیروی رانشی استفاده می شود.

¹ Anchorage

² Tieback(Nailing)



از این روش برای گودبرداری‌های طویل با عمق کم به خوبی می‌توان بهره گرفت..

معایب

به دلیل استفاده از تجهیزات ویژه حفاری، هزینه عملیات حفاری بالا خواهد بود که در بسیاری از موارد توجیه اقتصادی ندارد. چون حفاریهای انجام شده در حریم همسایه خواهد بود، لذا در سطح شهر نمی‌توان این روش را به کار برد، لذا این گزینه نیز برای پروژه‌های درون شهری گزینه مناسبی نیست.

۳,۲. روش دیواره دیافراگمی

مزایا

این روش دارای سرعت قابل ملاحظه‌ای بوده و درجه اطمینان بالایی دارد.

دیوار حائل همزمان با دیوار نگهدارنده حوادث می‌شود.

از این روش به خوبی می‌توان برای حفاریهایی که طول زیادی دارند، استفاده کرد.

معایب

هزینه این روش بسیار زیاد است و در حجم کم گودبرداری مقرون به صرفه نیست.

چون دستگاه حفاری نیاز به فضای کار دارد، لذا در محلهایی که دارای محدودیت جانی هستند، دستگاه به سختی کار می‌کند.

۴,۲. روش مهار روبرو

مزایا

این روش یکی از روشهای خوب و مطمئن برای گودبرداری‌هایی است که عرض گودبرداری کم و در ضمن سطح خاک در دو طرف گود یکسان است.

این روش بسیار سریع و اقتصادی است.

معایب

از این روش برای عرضهای کم و حداکثر ۱۰ متر می‌توان استفاده کرد و در صورت زیاد بودن عرض گود، باید بین تیرهای افقی، مهاربندی شود که باعث می‌شود فضای کار بسیار محدود شود. این روش مخصوصاً برای کانالهای مختلف بسیار مناسب است.

۵,۲. مهاربندی با بستهای مایل و شیروانی محافظ

مزایا

این روش یکی از روشهای خوب و مطمئن برای گودبرداری‌هایی است که عرض آنها زیاد و سطح خاک در دو طرف آنها یکسان است

معایب

در این سیستم نسبت به سیستم مهاربندی با بستهای افقی تغییرشکل‌های جانبی بیشتری را می‌توان انتظار داشت.

۶,۲. روش اجرای شمع درجا

مزایا

شمعهای اجرا شده به عنوان دیوار حائل نیز عمل می‌کنند.

سرعت عملیات بسیار بالاست.

معایب

در صورتی که ارتفاع گودبرداری زیاد باشد، فواصل شمعها کوچک شده، قطر لازم برای شمع زیاد خواهد بود. با توجه به مطالعات اولیه انجام گرفته، از این روش می‌توان برای گودبرداری تا ۵ متر به خوبی بهره گرفت.

۷,۲. روش خریا (پیشنهادی شهرداری تهران)

مزایا

حداقل هزینه با توجه به بهینه شدن مقدار مصالح مصرفی و سهولت اجرا

معایب

اثر عرض گود نادیده گرفته شده است.

در تحلیلها از فشار اکتیو و برنامه Sap90 استفاده شده در صورتی که در برنامه‌هایی نظیر Plaxis و Flac رفتار خاک کاملاً مشابه مدلسازی می‌شود. برای تهیه نمودارهای طراحی روی تغییر مکانهای حاصل از این روش مطالعه‌ای صورت نگرفته و پایداری دیواره گود ملاک طراحی بوده است.



۲،۸ روش روبندی^۳ و پی بندی^۴

این روش برای اولین بار در سال ۱۸۴۸ میلادی در انگلستان برای تقویت شالوده یک ساختمان بنایی پنج طبقه به صورت جایگزینی شالوده چوبی با شالوده بتنی اجرا شد. برای اینکار زیر دیوار خالی شد و با بتن پر گردید و برای جلوگیری از واژگونی دیوار از دستکهای مایل تکیه داده شده به خاک استفاده گردید. جهت توضیحات بیشتر در این خصوص می‌توانید به مراجع [3] و [4] رجوع کنید. هرچند نمی‌توان این روش را جز روشهای گودبرداری دانست ولی به علت اینکه این روش به نوعی سازه کنار گود را محافظت می‌کند، در اینجا مطرح گردید و در واقع روشی که موسوم به روش تیرکهای مایل است بسیار مشابه روش روبندی و پی بندی است.

روشهای ابتکاری نیز جهت گودبرداری مجاور ساختمان همسایه وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به روش چاه و تونل اشاره نمود [5]. در این روش جهت اجرای ستونها چاه حفر می‌نمایند و برای اجرای شناژ بتنی گالری افقی (تونل) ایجاد می‌کنند.

۳. مدلسازی اجزاء محدود

۳،۱. بررسی پایداری در شناخت عملکرد تیرکها

با توجه به اینکه تیرکها فقط به منظور کاهش بار مجاور گود و محدود کردن تغییرمکانهای ناشی از آن به کار می‌رود، عملاً از دیواره گود محافظتی صورت نمی‌گیرد. لذا باید توده خاک از چسبندگی قابل قبولی برخوردار باشد و ضریب اطمینان شیروانی ایجاد شده کنترل گردد تا گسیختگی رخ ندهد و به عبارت دیگر پایداری شیروانی کنترل گردد که این مطلب با تعیین زاویه برم (در مورد گودبرداری به صورت شیب‌دار) و یا با استفاده از رابطه زیر (در گودبردهای قائم) کنترل گردد:

$$H_{cr} = \frac{4C}{\gamma} \tan(45 + \frac{\phi}{2}) \quad (1)$$

که در آن H_{cr} ارتفاع بحرانی و γ, C, ϕ به ترتیب پارامترهای مقاومتی و دانسیته خاک حفاری شده هستند.

برای پایداری لازم است که ضریب اطمینان بزرگتر از یک وجود داشته باشد. این موضوع با مدلسازی گودبرداری به صورت مرحله‌ای و بدون در نظر گرفتن هرگونه تقویت (تیرکهای مایل و افقی) توسط نرم‌افزار اجزاء محدود PLAXIS انجام گردید که در ادامه توضیحاتی مختصر راجع به مدلسازی و فرضیات آن بیان می‌گردد.

۳،۲. فرضیات اصلی

فرضیات اصلی که در مدلسازی به کار رفته عبارتند از:

- ۱- حالت کرنش صفحه ای در نظر گرفته شده است.
- ۲- برای دقت بیشتر مدلسازی از المانهای ۱۵ گرهی استفاده شده است.
- ۳- با توجه به عدم وجود سازه نگهدارنده از وجود آب صرف‌نظر شده و رفتار خاک خشک، زهکشی شده در نظر گرفته شده است.
- ۴- مدل رفتاری موهر-کولمب در نظر گرفته شد.

ورمیر و دی بورست مدل‌های ساده و ابتدایی الاستو پلاستیک کامل را جهت گودبرداری معرفی نمودند [7]. وود پیشنهاد کرد جهت ارائه تصویر واقعی تر از رفتار خاک از مدل‌های پیشرفته تر استفاده گردد که به پارامترهای بیشتری نیاز دارد و مدلسازیها را پیچیده تر می‌نماید. با توجه به اینکه در مراجع [8]، [9] که مدلسازیهای مرتبط با موضوع مقاله حاضر دارد از مدل موهر-کولمب استفاده شده است، در این تحقیق ابتدا از این مدل رفتاری استفاده شد و وقتی صحت نتایج با روابط تئوری کنترل گردید، استفاده از این مدل رفتاری تثبیت گردید. نکته قابل ذکر آن است که نتایج حاصل از مدلسازی با مدل موهر-کولمب در مورد تغییرمکانها و نشستها تا قبل از گسیختگی صحیح می‌باشد که این موضوع خللی ایجاد نمی‌کند زیرا در این تحقیق چه در زمان کنترل پایداری و چه در زمان کنترل نشستها و تغییرمکانها به داده‌های قبل از گسیختگی نیاز است.

³ Shoring

⁴ Underpinning



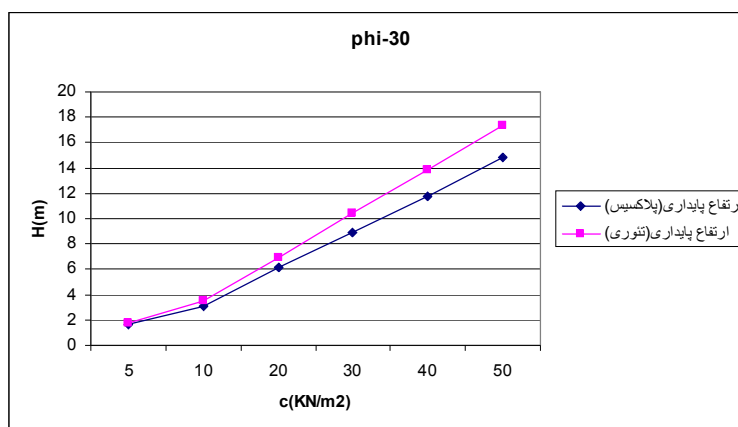
۳.۳. مطالعه پارامتریک:

طی مطالعه پارامتریک که با تغییر مدول الاستیسیته، شیب برم، سختی خاک و پارامترهای مقاومتی و به کمک نرم افزار PLAXIS V8.2 انجام گردید [10]، نتایج زیر حاصل شد:

- ۱- افزایش شیب برم سبب کاهش تغییر مکانها (قبل از گسیختگی) می شود.
 - ۲- با افزایش مدول الاستیسیته خاک، ماکزیمم حرکت دیواره جانبی گود کاهش می یابد.
 - ۳- افزایش سختی خاک تا یک نسبت مشخص سبب کاهش تغییر مکانها به همان نسبت می شود.
 - ۴- با افزایش پارامترهای مقاومتی (c, ϕ) تغییر مکان جانبی دیواره گود کاهش می یابد. این کاهش در محدوده زاویه اصطکاک داخلی ۳۰ تا ۴۰ درجه محسوس تر است.
- در این مطالعات پارامتریک صحت نرم افزار نیز کنترل گردید که یک نمونه از آن در جدول ۱ و شکل ۲ می آید:

$\phi=30$ و $\gamma=20$			
درصد اختلاف	ارتفاع پایداری (تنوری)	ارتفاع پایداری (پلاکسیس)	چسبندگی
4	1.67	1.6	5
7	3.33	3.1	10
7	6.67	6.2	20
11	10.00	8.9	30
12	13.34	11.8	40
11	16.67	14.8	50

جدول ۱- به دست آوردن ارتفاع پایداری (مدل-تنوری) با ثابت در نظر گرفتن زاویه اصطکاک و تغییر چسبندگی



شکل ۲- نمودار ارتفاع پایداری بر حسب چسبندگی

۴. مکانیزم عملکرد تیرکهای مایل و افقی

در این روش نخست یک حاشیه خاکی در مجاورت ساختمان همسایه باقی گذاشته شده و بقیه گود حفاری می گردد. سپس تیرکهایی به دیوار یا ستون همسایه متصل می شود. سر دیگر این تیرکها به کف گود (با تعبیه پی مناسب) متصل می گردد. چنانچه عرض گود کم باشد، تیرکها افقی نصب می شوند و ساختمانهای دو طرف گود را بهم وصل می کنند.

برای شناخت عملکرد تیرکهای مایل توجه به دو دیدگاه کنترل پایداری و تغییر شکل ضروری است.

دیدگاه پایداری: با انجام گودبرداری ممکن است شيروانی به وجود آمده به همراه ساختمان مجاور گود دچار ناپایداری و نشست شود. در اینجا مسئله پایداری شیروانی مطرح می شود که با در نظر گرفتن ضریب اطمینان بالاتر از یک قابل حل است. در این دیدگاه همچنین کاهش ظرفیت باربری پی ساختمان در مجاورت شیب ناشی از گودبرداری مطرح می گردد و ضریب اطمینان پی باید در شرایط جدید محاسبه شود.

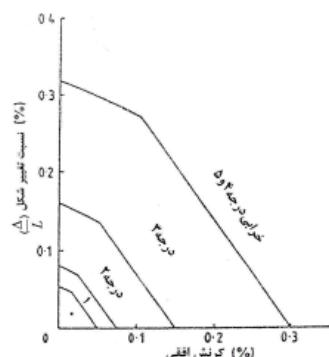


دیدگاه کنترل تغییر شکل: وقتی گودبرداری در مجاورت ساختمانی انجام می‌شود، سطح زمین مجاور گود تغییر مکان می‌دهد و ساختمان همسایه دچار نشست می‌شود نشست قائم که به صورت نشست کل و نشست غیریکنواخت بروز می‌کند، می‌تواند خرابی ساختمان را در پی داشته باشد. از دو دیدگاه فوق معمولاً در گودبرداریه‌های شهری دیدگاه دوم مطرح می‌شود زیرا اغلب قبل از آنکه گسیختگی شیروانی مجاور گود اتفاق افتد، ساختمانهای مجاور گود دچار نشستهای اضافی می‌شود و صدمه می‌بیند. به بیان دیگر در گودبرداریه‌های مجاور ساختمان همسایه باید نشستها را محدود کرد. البته برخی خاکهای سخت، رفتار بسیار تردی از خود نشان می‌دهند و گسیختگی شیروانی به صورت ناگهانی و با تغییر شکل بسیار کم اتفاق می‌افتد که در این حالت کنترل پایداری تعیین کننده است.

کنترل تغییر شکل باید با کنترل توأم نشست قائم و تغییر مکان افقی همراه باشد. اگر گودبرداری موجب نشستی بیشتر از مقدار مجاز در ساختمان مجاور شود، به آن خسارت وارد می‌کند. دیدگاه ساده کنترل تغییر شکل که فقط تغییر شکل قائم را در نظر می‌گیرد، برای مطالعه عملکرد تیرکهای مایل کافی نیست. ساختمانی که مجاور گود قرار دارد علاوه بر تغییر مکان قائم دچار تغییر مکان افقی نیز می‌گردد که این تغییر مکان افقی بخصوص در حالت غیر یکنواخت به تنهایی برای صدمه زدن به ساختمان کافی است. لذا در شناخت عملکرد تیرکها باید کنترل نشستهای قائم و تغییر شکلهای افقی با هم در نظر گرفته شود. پس مسئله در نظر گرفتن تغییر شکلهای افقی و قائم مجاز به صورت توأم مطرح می‌شود که در آیین نامه ها و مراجع مورد توجه قرار نگرفته است.

بوسکاردین و کوردینگ با استفاده از نتایج تحقیقاتی در زمینه خرابی ساختمانها بر اثر تونلسازی و گودبرداری در مناطق شهری به یک جمع بندی 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 این دو دانشمند در مرجع [12] آمده است.

شکل ۳ نشاندهنده محدوده های خرابی با درجات مختلف است. خرابی با درجه صفر قابل صرف نظر کردن و کرنش کششی حدی آن کمتر از ۰,۰۵ درصد و خرابی با درجه ۱ و ۲ به ترتیب خیلی کم، کم و متوسط هستند. خرابی های با درجه های ۴ و ۵ به معنی خرابی شدید تا خیلی شدید است و کرنش کششی آنها بیش از ۰,۳ درصد می‌باشد. طبق شکل هر یک از تغییر شکلهای افقی و قائم به تنهایی می‌تواند باعث خرابی گردد، ضمن آنکه اثر توأم آنها نیز دیده شده است.



شکل ۳- منحنی های نشاندهنده مقادیر مجاز نسبت تغییر شکل قائم و کرنش افقی [13]

به طور خلاصه عملکرد تیرکهای مایل (بدون سازه نگهبان) عبارت است از :

الف- انتقال بار قائم ستون یا دیوار یا پی ساختمان کناری به کف گود که سبب کاهش نشست قائم پی ها و افزایش ضریب اطمینان باربری پی می‌شود.

ب- ایجاد نوعی قید جانبی جهت کاهش حرکت جانبی ساختمان کنار گود

که مورد اول در تیرکهای افقی وجود ندارد و فقط عملکرد دوم در مورد آنها صادق است. ضمن آنکه باید به این موضوع توجه نمود که چنانچه خاک کف گود دچار تورم شود، این تورم با انتقال از طریق تیرک مایل باعث به وجود آمدن پیچش زاویه ای بین ستون لبه گود و بقیه ساختمان می‌شود.



۵. نتیجه گیری

نتایج حاصل از مطالعات پارامتریک در زیر بخش ۳،۳ آمده است. در پارامترهای مقاومتی نسبتاً پایین مهار نقش عمده‌ای در انتقال نیرو به کف گود دارد و با توجه به عدم استفاده از سازه نگهدارنده در این سیستم، در شرایطی که چسبندگی خاک بسیار کم است، بهتر است از این روش استفاده نشود. در اجرای صحیح این روش باید دقت نمود و باقی گذاشتن برم با شیب مناسب، نصب سریع مهارها پس از حفر برم، طراحی سازه‌ای دقیق پی تیرکها برای جذب بارهایی که به وسیله مهار منتقل می‌شود و طرح دقیق اعضای مهارهای فشاری، از موارد مهمی است که باید رعایت شود. در مهاربندی گودبردارها توسط تیرکهای مایل، علاوه بر نشست قائم ساختمان مجاور باید به کرنش افقی آن توجه شود و این دو توأماً در نظر گرفته شود. عملکرد تیرکهای مایل در گودبردارهای شهری در مجاورت ساختمان همسایه شامل انتقال بار عضو باربر ساختمان مجاور به کف گود و کاهش تغییر مکانهای قائم و افقی می‌باشد.

۱۲. مراجع

۱. مهندسان مشاور اینترکان (۱۳۷۶)، "گودبرداری و ایمن سازی"، معاونت شهرداری و معماری شهرداری تهران.
۲. سرمد نهري امير و كاردان محسن (۱۳۸۷)، "اصول و مبانی گودبرداری و سازه‌های نگهدارنده"، چاپ اول، سیمای دانش.
۳. فاخر علی و توفیق سبحانی محمد حسین، (۱۳۸۳) "توصیه‌هایی برای گودبرداری سنتی متداول در تهران در مجاورت ساختمان همسایه"، گزارش تحقیقی به مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
4. National research council of Canada (1978), "Canadian manual on foundation engineering".
۵. فروغی، محمد، (۱۳۷۹) "روش چاه و تونل برای اجرای ساختمان جدید در مجاورت ساختمانهای قدیمی"، مجله بنا، شماره ۱۲.
۶. ژاک ماتیاوا، یونفو (مولفان)، بهنیا ابوالحسن و بهنیا کامبیز (مترجمان)، ۱۳۷۵ "روشهای کلی اجرا"، انتشارات دانشگاه تهران.
7. Vermeer, P. A., and Borst, R. de, "Non-associated Plasticity for soil, concrete and rock", 1984, Heron, 29(3).
8. Benson Hsiung, Bin-chen, "A case study on the behavior of a deep excavation in sand", Computers and Geotechnics 36(2009), 665-675.
9. Guetif, Z., Bouassida, M., Debats, J. M., "Improved soft clay characteristics due to stone column installation", Computers and Geotechnics 34(2007), 104-111.
10. PLAXIS-B.V. PLAXIS: "finite element package for analysis of geotechnical structure" Delft University of Technology (Netherlands), 2002.
11. Brinkgreve R.B.J. "PLAXIS 2D version 4 Manuals (General & Tutorial & Material Models)". A.A. Balkema; 2004
12. Boscardin, M.D. Cording, E.G. "Building response to excavation induced settlement", Journal of Geotechnical Engineering, Vol 115, No.1, 1989
13. Mair, R.J., "Geotechnical aspects of design criteria for bored tunneling in soft ground", Proceeding of World tunnel congress 98 on Tunnel and Metropolises, Brazil, 1989, Vol.1.
14. Chana, Yu, Ou, "Deep Excavation theory and practice", Taylor & Francis/Balkema(2006).