دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده عمران

مطالعه‌ی رفتار سازه نگهبان شمع و تای‌بک با بکار گیری مدل رفتاری الاستوپلاستیک جامع دو سطحه و سطح مرزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – خاک و پی

کبری نیکنام

استاد راهنما

دکتر امیر مهدی حلبیان

۱۳۹۰

به نام یکتای هستی بخش

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده عمران

مطالعه‌ی رفتار سازه نگهبان شمع و تای‌بک با بکار گیری مدل رفتاری الاستوپلاستیک جامع دو سطحه و سطح مرزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران – خاک و پی

کبری نیکنام

استاد راهنما

دکتر امیر مهدی حلبیان

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده عمران

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی عمران – گرایش خاک و پی خانم کبری نیکنام

تحت عنوان

مطالعه‌ی رفتار سازه نگهبان شمع و تای‌بک با بکار گیری مدل رفتاری الاستوپلاستیک جامع دو سطحه و سطح مرزی

در تاریخ ۱۳۹۰/۱/۳۱ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه:	دکتر امیرمهدی حلبیان
۲- استاد مشاور پایان‌نامه:	دکتر سید حمید هاشم‌الحسینی
۳- استاد داور:	دکتر علی پاک
۴- استاد داور:	دکتر محمود وفائیان
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده:	دکتر عبدالرضا کبیری

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را بر آنچه از وجود مبارکش به ما شناسانده، و بر آنچه از شکرش به ما الهام فرموده، و بر آن درهای دانش که به پروردگاریش بر ما گشوده، و بر اخلاص ورزی در توحید و یگانگیش ما را رهنمون شده.

با تشکر و قدردانی از پدر و مادر بزرگوارم که تمام لحظات زندگیم با وجود گرمشان پرفروغ است. توانشان رفت تا به توانایی بر سم و مویشان سپید گشت تا رویم سپید بماند. در برابر قدم هایشان زانوی ادب بر زمین می گذارم و با قلبی سرشار از عشق و خضوع بر دستشان بوسه می زنم. سرو وجودشان همیشه سبز و استوار. با تمام وجود سپاسگزار خواهر خوبم مهین هستم که آفتاب مهرش در آستان قلبم همیشه پابرجاست و هرگز غروب نخواهد کرد، لذا از خداوند متعال سلامتی و شادکامی این عزیزان را خواستارم.

نهایت سپاسگزاری خود را از استاد ارجمند و نیک اندیشم جناب آقای دکتر امیرمهدی حلبیان که فکر جوان و کم تجربه ام با همراهی ها و رهنمودهای دلسوزانه ایشان راه رفتن آموخت، ابراز می کنم. از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر سید حمید هاشم الحسینی که به عنوان استاد مشاور از راهنمایی هایشان بهره بردم سپاسگزارم. بی شک رهنمون های اساتید بزرگوارم راهی را که ابتدا دشوار می نمود، آسان گردانید. از داوران محترم که با دقت نظر، به بررسی پایان نامه پرداختند کمال تشکر را دارم.

هم چنین بر خود لازم می دانم تشکر ویژه داشته باشم از دوست خوبم خانم ندا معتمدی که طی این مدت از کمک های بی دریغشان استفاده کردم و از خداوند متعال برای ایشان توفیق روزافزون، در تمام مراحل زندگی خواستارم. از همه هم اتاقی ها و دوستان که در این دوره همچون اعضای خانواده در کنارم بودند، متشکرم.

کبری نیکنام

فروردین ۹۰

کلیه‌ی حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به

اعضای کلبه‌ی مهر:

پدر و مادر عزیزم،

خواهران و برادران خوبم

و همسر مهربانم

که نفسم با نفسشان گرم

و

قلبم با تپش قلبشان در تپش است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱ کلیات ۴

۱-۲ انواع مهاربندی‌ها ۵

۱-۳ لزوم انجام تحقیق و هدف پایان‌نامه ۷

۱-۴ معرفی فصول پایان‌نامه ۸

فصل دوم: پیشینه علمی

۲-۱ مقدمه ۹

۲-۲ مراحل ساخت ۹

۲-۳ مطالعات پایداری استاتیکی ۱۲

۲-۳-۱ نموگرام‌های تجربی فشار جانبی خاک ۱۲

۲-۳-۲ منحنی‌های نیرو- جابجایی ۲۰

۲-۳-۳ روش‌های تعادل حدی ۲۳

۲-۳-۴ روش‌های عددی ۲۶

۲-۴ مطالعات دینامیکی ۳۴

۲-۴-۱ مطالعات عددی ۳۵

فصل سوم: تحلیل استاتیکی سازه نگهبان شمع و تای‌بک با استفاده از یک مدل رفتاری جامع

۳-۱ مقدمه ۴۰

۳-۲ مدل الاستوپلاستیک جامع دو سطحه ۴۱

۳-۲-۱ سطح تسلیم ۴۱

۳-۲-۲ تابع پتانسیل ۴۳

۳-۲-۳ فرمول‌بندی سخت‌شدگی حجمی- انحرافی ۴۴

۳-۲-۴ روش انتگرال‌گیری ۴۵

۳-۲-۵ جزئیات بکار گیری مدل ساختاری جامع در نرم‌افزار و بررسی صحت عملکرد آن ۴۶

۳-۳ تحلیل استاتیکی سازه نگهبان در قالب مطالعات پارامتریک ۵۰

۳-۳-۱ ارائه‌ی مدل‌های هندسی ۵۰

۳-۳-۲ مدل‌سازی در روش تفاضل محدود ۵۳

۳-۳-۳ مدل رفتاری خاک ۵۷

۳-۴ توزیع فشار جانبی خاک ۶۰

۳-۵ تحلیل پارامتریک ۶۸

۳-۵-۱ تأثیر نیروی پیش‌تنیدگی مهار ۶۸

۳-۵-۲ تأثیر طول گیرداری مهارها ۷۳
۳-۵-۳ تأثیر موقعیت اولین تراز مهار ۷۷
۳-۵-۱ تأثیر فاصله بین شمع‌ها ۸۱
۳-۵-۲ تأثیر سختی شمع ۸۵
۳-۵-۳ تأثیر عمق نفوذ شمع در خاک زیر کف گود ۸۹
۳-۵-۴ تأثیر آرایش مهارها ۹۳
فصل چهارم: بخدمت‌گیری یک مدل سطح مرزی در روش تفاضل محدود
۴-۱ مقدمه ۱۰۱
۴-۲ مدل‌های رفتاری تناوبی بر اساس تئوری پلاستیسیته ۱۰۱
۴-۲-۱ توصیف مدل سطح مرزی ۱۰۳
۴-۲-۲ ثوابت مدل ۱۱۶
۴-۲-۳ روش انتگرال‌گیری صفحات برشی جهت بکارگرفتن مدل سطح مرزی در نرم‌افزار ۱۱۷
۴-۳ بخدمت گرفتن مدل رفتاری جامع در نرم‌افزار تفاضل محدود ۱۱۹
۴-۳-۱ فرمول‌بندی یک مدل تفاضل محدود صریح ۱۱۹
۴-۳-۲ گسسته‌سازی مدل ۱۲۲
۴-۳-۳ گام‌های اصلی محاسبات ۱۲۳
۴-۳-۴ فرمول‌بندی نموی معادلات ساختاری ۱۲۵
۴-۴ بکارگیری مدل ساختاری سطح مرزی در روش تفاضل محدود ۱۲۷
۴-۴-۱ بررسی درستی عملکرد مدل ساختاری ۱۳۰
فصل پنجم: تحلیل دینامیکی سازه نگهبان شمع و تای‌بک با استفاده از مدل رفتاری سطح مرزی
۵-۱ مقدمه ۱۴۳
۵-۲ تحلیل دینامیکی ۱۴۳
۵-۲-۱ بارگذاری دینامیکی و اعمال شرایط مرزی ۱۴۴
۵-۲-۲ میرایی مکانیکی ۱۴۷
۵-۲-۳ انتقال امواج ۱۴۷
۵-۳ تحلیل سازه نگهبان شمع و تای‌بک با مدل سطح مرزی ۱۴۸
۵-۳-۱ بارگذاری دینامیکی ۱۴۹
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۶-۱ مقدمه ۱۵۲
۶-۲ نتایج تحلیل‌ها ۱۵۳
۶-۲-۱ پیشنهادات ۱۵۵
مراجع ۱۵۰

چکیده

پایدارسازی جداره‌های گودبرداری با استفاده از سازه‌های نگهبان در قالب سیستم‌های مختلف نگهدارنده صورت می‌گیرد. در این تحقیق سیستم نگهبان شمع پشت‌بند و مهار تای‌بک مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای طراحی سازه‌های نگهدارنده‌ی گود، توزیع فشار اعمالی خاک از جمله عوامل مهم در طراحی است. نحوه‌ی القاء شدن تنش‌ها در خاک پشت دیواره‌ها بر توزیع فشار جانبی خاک تأثیرگذار می‌باشد. بنابر این بکارگیری مدل رفتاری که بتواند رفتار خاک را در مسیرهای متفاوت به خوبی پیش‌بینی کند، ضروت می‌یابد، لذا در این تحقیق جهت مطالعه‌ی استاتیکی سازه نگهبان شمع و مهار برای شبیه‌سازی رفتار خاک از یک مدل الاستوپلاستیک جامع دو سطحه‌ی جدید استفاده شده است و رفتار سازه نگهبان در قالب یک مطالعه‌ی پارامتریک مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این بخش اثر عواملی مانند میزان نیروی پیش‌تنیدگی مهارها، طول گیرداری مهارها، موقعیت اولین تراز مهار، فاصله بین شمع‌ها، سختی شمع، عمق نفوذ شمع در خاک مورد بررسی قرار می‌گیرد، همچنین نحوه آرایش مهارها بررسی می‌شود و اثر این پارامترها بر توزیع فشار جانبی خاک، لنگر خمشی شمع، نیروی محوری مهارها و تغییر شکل جانبی شمع مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به اهمیت نیروی زلزله و اثرات مخرب آن در سازه‌ها و عملکرد سازه‌های نگهبان شمع و تای‌بک در برابر زلزله، بررسی رفتار دینامیکی این نوع دیوار مهار شده ضروری است. یک مدل خوب برای اندرکنش دینامیکی خاک – سازه شامل منحنی‌های هیسترتیک تنش- کرنش خاک است به طوریکه مشخصهٔ جذب انرژی واقعی خاک را در برداشته باشد. مدل‌های سطح مرزی که با استفاده از مفهوم پارامتر وضعیت توسعه داده شده‌اند، جهت شبیه‌سازی رفتار استاتیکی و تناوبی خاک‌های ماسه‌ای مناسب می‌باشند. یکی از این مدل‌های رفتاری در قالب برنامه‌ی تفاضل محدود $FLAC^{3D}$ به خدمت گرفته شده است. جهت صحت‌سنجی نتایج حاصل از مدل رفتاری لازم است آزمایش‌های مختلفی شبیه‌سازی و نتایج با داده‌های تجربی مقایسه شود. مقایسه‌ی نتایج، حاکی از دقت و کارآمدی مدل رفتاری مذکور در پیش‌بینی ویژگی‌های رفتاری مهم خاک‌های ماسه‌ای است.

کلمات کلیدی: سازه‌های نگهبان، فشار جانبی خاک، مدل رفتاری، اندرکنش دینامیکی.

فصل اول
مقدمه

۱-۱ کلیات

در بسیاری از پروژه‌های ساختمانی لازم است که زمین به صورتی خاکبرداری شود که جداره‌های آن قائم یا نزدیک به قائم باشد. این‌کار ممکن است به منظور احداث زیرزمین، کانال، منبع آب یا تأسیسات شهری(مانند ایستگاه‌های مترو) وغیره صورت گیرد. فشار جانبی وارد بر این جداره‌ها ناشی از رانش خاک بر اثر وزن احتمالی روی خاک کنار خود آن، و نیز سربارهای گود می‌باشد. این سربارها می‌توانند شامل خاک بالاتر از تراز افقی لبه‌ی گود، ساختمان مجاور، بارهای ناشی از بهره‌برداری از معابر مجاور و غیره باشند. اگر چه اکثر ترانشه‌ها جنبه موقت دارند، اما به منظور جلوگیری از ریزش ترانشه و تبعات منفی احتمالی ناشی از خاکبرداری باید به کمک سیستم‌های مهاربندی مناسب از دیواره گودها حمایت شود. پایدارسازی جداره‌ی گودبرداری‌ها با استفاده از سازه‌های نگهبان در قالب سیستم‌های مختلف نگهدارنده صورت می‌گیرد. سیستم‌های نگهبان شامل روش‌هایی مثل دیوار دیافراگم[۱]، شمع‌های پشت‌بند[۲]، سپرکوبی[۳] و سیستم‌های نگه‌دارنده شامل روش‌های آنکراژ[۴]، دوخت به پشت[۵]، مهارهای عرضی[۶]، میخکوبی[۷] است. اهداف اصلی ایمن سازی جداره‌های گود با استفاده از سازه‌های نگهبان عبارتند از: حفظ

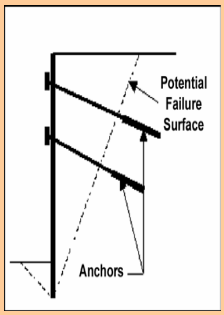
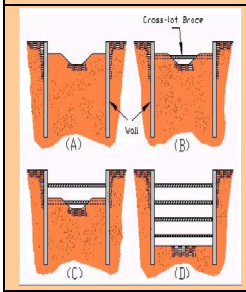
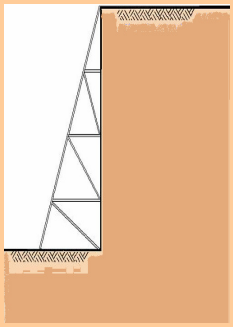
[1] Slurry wall
[2] Soldier pile
[3] Sheet pile
[4] Anchorage
[5] Tie-back
[6] Bracing strut
[7] Nailing

جان انسان‌های خارج و داخل گود، حفظ اموال خارج و داخل گود و نیز فراهم آوردن شرایط امن و مطمئن برای اجرای کار. موضوع گودبرداری و طراحی و اجرای سازه های نگهبان در مهندسی عمران دارای گستره وسیعی است و نیاز به بررسی‌ها و مطالعات و ملاحظات ژئوتکنیکی، سازه‌ای، مواد و مصالح، تکنولوژیکی و اجرایی و اقتصادی و اجتماعی دارد. در نتیجه می‌توان گفت که انتخاب روش مناسب به جمیع شرایط تأثیرگذار بستگی دارد. از سوی دیگر، تئوری‌ها و روش‌های اجرایی گودبرداری و سازه‌های نگهبان، هم مبتنی بر اصول تئوریک و هم متأثر از ملاحظات اجرایی و تجربی است.

۲-۱ انواع مهاربندی‌ها

مهاربندی‌ها به سه نوع تای‌بک، عرضی و خرپایی تقسیم می‌شوند، مزایا و معایب هر یک از روش ها در جدول ۱-۱ خلاصه شده است.

جدول ۱-۱- انواع مهاربندی‌ها

نوع مهاربندی	مزایا	معایب	شکل دیوار
مهار بندی تای‌بک	۱. بهبود خواص خاک به علت عملیات تزریق برای مهارهای اصطکاکی در خاک ۲. خصوصیات مقاومتی خود خاک برای مهار نیروی رانشی ۳. قابلیت کاربرد در گودبرداری‌های طویل	۱. عدم قابلیت استفاده در سطح شهر به علت حفاری در حریم همسایه ۲. هزینه عملیات حفاری بالا به دلیل استفاده از تجهیزات ویژه حفاری ۳. ایجاد تغییر شکل‌های زیاد	
مهاربندی عرضی (مهار متقابل)	۱. روشی خوب و مطمئن برای گودبرداری‌های با عرض کم و دارای سطح خاک یکسان در دو طرف گود ۲. روشی بسیار سریع ۳. روشی بسیار اقتصادی	۱. در صورت زیاد بودن عرض گود باید بین تیرهای افقی، مهاربندی عرضی شود که باعث ایجاد محدودیت در فضای کار می‌شود.	
مهاربندی خرپایی	۱. قابلیت کاربرد برای گودبرداری با هر عرض ۲. روشی بسیار سریع ۳. روشی بسیار اقتصادی	۱. لزوم اجرای عملیات خشکسازی برای استفاده از این سیستم در گودبرداری در زیر سفره آب زیرزمینی ۲. تغییر شکل‌های زیادی خاک‌های ریزشی و نرم	

روش تای‌بک یکی از روش‌هایی است که در ابتدا جهت نگهداری حفاری‌های موقت بکار می‌رفت، هنگامی که مهندسین با طراحی و اجرای رضایت بخش آن آشناتر شدند و اقتصادی بودن آن نمایان‌تر شد، برای جنبه‌های دائمی نیز کاربرد پیدا کرد و اصولاً در حفاری عمیق برای دیوارهای نگهبان مهار شده به عنوان یک جانشین به جای مهارهای عرضی به علت تراکم و اجرای سخت آن طی حفاری، استفاده می‌شود.

انواع مختلفی از دیوارها ممکن است در سیستم‌های مهار شدهٔ تای‌بک استفاده شود. در این بخش بعضی از متداولترین انواع دیوارها با مزایا و معایب آن شرح داده می‌شود.

دیوارهای نگهبان مایل مهارشده شامل دال بتنی مسلح که توسط مهارها محافظت می‌شوند. این دال‌ها، پیش ساخته یا درجا ساخته شده، با ضخامت‌های متفاوت از ۰/۳ تا ۰/۶ متر یا بیشتر می‌باشند که سختی و صلبیت‌های عالی را ارائه می‌دهند و ممکن است به عنوان دال دو طرفه طراحی شوند. از ویژگی‌های این دیوارها می‌توان به مواردی از قبیل: عدم نیاز به عمق مدفون زیر تراز زمین، عدم محدودیت در تعداد یا قرار دادن مهارها، اعمال بار محوری کم رو به پائین و فراهم نمودن کیفیت خوب تحت هر شرایط محلی، اشاره نمود(جدول ۱-۲- الف).

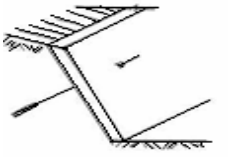
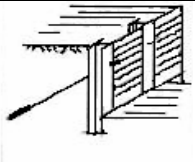
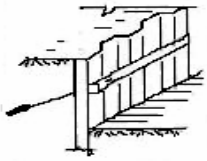
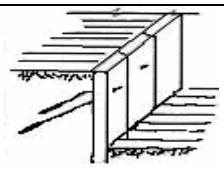
این مهارها معمولاً با دیوارهای شامل شمع‌های پشت‌بند برای مهار حفاری‌ها ترکیب می‌شوند. این نوع دیوارها با نصب شمع‌ها (معمولاً H-pile) در یک خط به فاصله‌های تقریباً ۲/۵ تا ۳ متر ساخته می‌شوند. برای جلوگیری از ریزش خاک طی حفاری، بین شمع‌ها و مهارها جدار تخته‌ای در فاصلهٔ منظم نصب می‌شود. مهارها در مرکز یا طرفین شمع منفرد قرار می‌گیرند. گاهی شمع‌های پشت‌بند، جفت تیر یا ناودانی‌های نصب شده در گودال می‌باشند که با بتن پر می‌شوند و سپس مهارها در فاصلهٔ بین تیر یا ناودانی‌ها نصب می‌شوند. شمع‌ها، دیوار را به صورت قائم مسلح می‌کنند. این دیوارها مقاومت خمشی متوسطی ارائه می‌دهند و باید توجه شود که در هنگام ساخت خوب آب بندی شوند. از معایب این‌گونه از دیوارها می‌توان به زنگ زدگی شمع‌های فولادی و امکان سفت بودن زمین یا شامل تخته سنگ بودن آن که برای شمعکوبی ایجاد مانع می‌کند، اشاره نمود(جدول ۱-۲- ب).

نوع دیگری از دیوارها، سپرهای فولادی می‌باشد که مقاومت خمشی کمی ارائه می‌دهند. اگر عمل ساخت به خوبی انجام شود، آب‌بندی مناسب درآن صورت می‌گیرد هر چند زنگ زدگی فولاد ممکن است یک مشکل باشد. سپرهای بتنی مزایا و معایب مشابه با سپرهای فولادی بجز زنگ زدگی را ارائه می‌دهند. هرچند از معایب اضافی آن احتمال ایجاد ترک در بتن هنگام نصب می‌باشد(جدول ۱-۲- ج).

دیوارهای دیافراگم که دیوار حاوی گل حفاری نیز نامیده می‌شوند، هنگامی که بتن درون شیار طولانی در زمین ریخته می‌شود، شکل می‌گیرند. شیار ممکن است با حفر یک ترانشه طولانی با یک ماشین مخصوص ایجاد شود و با استفاده از گل حفاری ترانشه باز نگه داشته شود، و با قرار دادن شمع درون زمین و حفاری پانل‌های بین

آن‌ها یا توسط متهٔ یک ماشین بزرگ خاک خارج و گل حفاری پمپ شود. این دیوارها مقاومت خمشی و آب بندی خیلی خوب را ارائه می‌دهند. همچنین دارای ظرفیت بار قائم می‌باشند و هیچ محدودیتی در فاصله و زاویه تمایل مهارها ایجاد نمی‌کنند (جدول ۱-۲- د).

جدول ۱-۲- انواع دیوارهای مهار شده

نوع دیوار	شکل دیوار
دیوارهای نگهبان مایل مهارشده	 (الف)
شمع‌های پشت‌بند با تخته بندی	 (ب)
دیوار سپرهای فولادی	 (ج)
دیوارهای دیافراگمی	 (د)

۱-۳ لزوم انجام تحقیق و هدف پایان‌نامه

برای طراحی سازه‌های نگه‌دارنده‌ی گودها از جمله سیستم شمع و مهار، توزیع فشارهای اعمالی خاک از عوامل تأثیرگذار در طراحی است. به خدمت گرفته شدن تنش‌ها در خاک پشت دیواره‌ها بر توزیع فشار جانبی خاک تأثیرگذار است. روش‌های مبتنی بر تئوری گسیختگی خاک‌ها، روش‌های تجربی همچون پک و ترزاقی، روش تیر- ستون و استفاده از منحنی‌های نیرو- جابه‌جایی و یا بخدمت گرفتن روش‌های عددی می‌توانند جهت تعیین توزیع فشار جانبی گودبرداری‌ها مورد استفاده قرار گیرند. نتایج بدست آمده از این روش‌ها می‌تواند با فشار جانبی واقعی خیلی متفاوت باشد. بدین جهت پژوهشگران زیادی با استفاده از نتایج اندازه‌گیری‌های در محل سعی کرده‌اند که مقادیر واقعی‌تری برای فشار جانبی خاک ارائه دهند و در طراحی بسیاری از سازه‌های نگه‌دارنده

جداره‌های گودبرداری‌ها از نتایج آنها استفاده شده است. چندین روش تحلیلی برای تعیین نیروهای ایجاد شده در سیستم شمع و مهار و الگوی طراحی این سازه‌ها توسط محققین مختلف ارائه شده است. اکثر این روش‌ها برای بارهای استاتیکی بوده و مطالعات اندکی برای بارهای لرزه‌ای صورت گرفته است. با توجه به اهمیت نیروی زلزله و اثرات مخرب آن در سازه‌ها، و عملکرد دیوارهای نگهبان مهار شده در برابر زلزله بررسی رفتار دینامیکی این‌گونه دیوارها ضروری است. در این پایان‌نامه ابتدا سعی شده است تا یک مدل تحلیلی از این سازه‌ها ارائه شود و رفتار سازه در برابر بارهای ناشی از رانش جانبی خاک مورد بررسی قرار گیرد که در این قسمت از تحقیق، از مدل ساختاری الاستوپلاستیک جامع دو سطحه توسعه داده شده توسط ملکی[۱] استفاده شده است. پس از مطالعه‌ی رفتار استاتیکی، جهت بررسی رفتار دینامیکی و اعمال بار لرزه‌ای به کف سازه‌ی نگهبان، مدل رفتاری الاستوپلاستیک سطح مرزی دافالیاس و منظری[۲] در نرم‌افزار تفاضل محدود $FLAC^{3D}$ بخدمت گرفته می‌شود.

۱-۴ معرفی فصول پایان‌نامه

این پایان‌نامه در شش فصل تنظیم گردیده است، که در ادامه به شرح مختصری از فصول بعدی پرداخته می‌شود.

فصل دوم پایان‌نامه به معرفی سیستم سازه نگهبان و شرح و بررسی مطالعات قبلی انجام گرفته در زمینه سازه‌های نگهبان شامل سیستم نگهدارنده‌ی تای‌بک در هر دو حالت استاتیکی و دینامیکی پرداخته است.

بهره‌گیری از مدل رفتاری مناسب که بتواند رفتار خاک را در شرایط مختلف به خوبی مدل کند، می‌تواند تا حدود زیادی بر صحت نتایج حاصله تأثیرگذار باشد. در این تحقیق جهت شبیه‌سازی رفتار محیط خاکی در شرایط استاتیکی، از یک مدل ساختاری الاستوپلاستیک جامع استفاده شده است. در فصل سوم به ارائه مدل رفتاری جامع، چگونگی به کارگیری مدل ساختاری در نرم‌افزار تفاضل محدود $FLAC^{3D}$، نتایج مربوط به صحت‌سنجی مدل ساختاری و در نهایت تحلیل استاتیکی سازه نگهبان شمع و تای‌بک با استفاده از مدل رفتاری جامع پرداخته شده است.

ارائه‌ی مبانی تئوری مدل رفتاری سطح مرزی خاک در شرایط تناوبی و نحوه‌ی بخدمت‌گیری مدل در روش تفاضل محدود و صحت‌سنجی آن، فصل چهارم این پایان‌نامه را به خود اختصاص داده است.

تحلیل دینامیکی سازه نگهبان شمع و تای‌بک با استفاده از مدل توسعه یافته در نرم‌افزار در فصل پنجم آورده شده است. در نهایت نتیجه‌گیری از نتایج تحلیل پارامتریک و پیشنهادات لازم برای پیشبرد کار در فصل ششم ذکر شده است.

فصل دوم
پیشینه علمی

۲-۱ مقدمه

دیوارهای تای‌بک برای پایداری و محافظت سازه‌ها استفاده می‌شوند. با توجه به کاربرد این سازه‌های نگهبان در مسائل متداول مهندسی از جمله در حفاری‌های عمیق، لزوم شناخت دقیق از نحوه اجرا، عملکرد و رفتار آن تحت شرایط مختلف بارگذاری از جمله بارهای استاتیکی و همچنین تحت اثر تحریکات لرزه‌ای کاملاً احساس می‌شود. در این فصل سعی شده است در ابتدا راجع به کلیات این نوع سازه‌های نگهبان، نحوه اجرا و عملکرد آن بحث شود و در ادامه به بررسی پیشینه علمی تحقیقات انجام شده در ارتباط با رفتار استاتیکی و دینامیکی اینگونه دیوارهای نگهبان پرداخته شود.

۲-۲ مراحل ساخت

اجزاء اصلی یک دیوار حائل تای‌بک را می‌توان در مهارها، شمع‌های حائل (Soldier piles) و رخپوش یا المان نگهبان سازه‌ای خلاصه نمود. دیوارهای حائل با استفاده از سیستم مهار تای‌بک، طی یک سری مراحل متوالی با خاکبرداری از بالا به سمت پائین گود بصورت زیر ساخته می‌شوند:

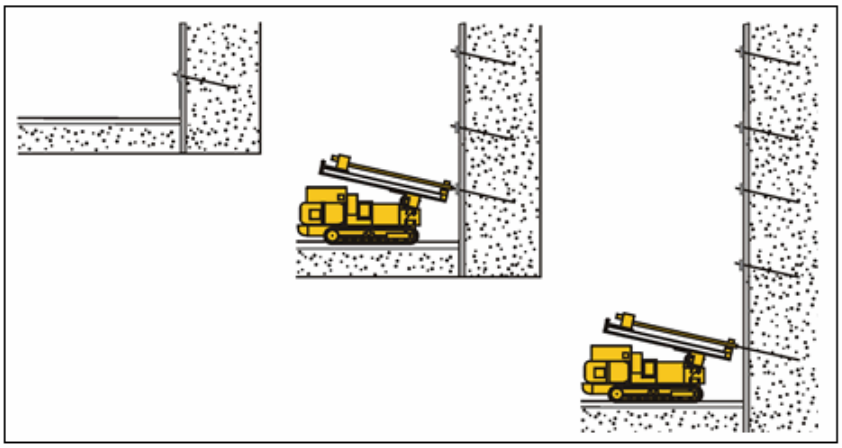
۱- اجرای شمع‌ها، با حفرشمع‌ها که در یک خط به فاصله‌های تقریبا ۲/۵ تا ۳ متر ساخته می‌شوند.

۲- گودبرداری که عموماً به اعماق ۱ تا ۲ متری محدود می‌شود.

۳- قراردادن مهارها در داخل خاک محل. مهارها از نوع میلگرد یا تاندون(کابل) می‌باشند که پیش‌تنیده می‌شوند. جهت نصب مهارها در هر مرحله حفاری به کمک دستگاه‌های حفاری ویژه‌ای، چاهک‌های افقی یا مایل درون جداره گود ایجاد می‌شود، سپس درون چاهک ایجاد شده کابل‌های مخصوصی قرار داده و انتهای آن با عمل ترزیق کاملاً در خاک مهار می‌گردد. پس از آن کابل‌های مذکور را توسط جک‌هایی کشیده و با اتصالات ویژه‌ای در جداره گود مهار می‌کنند. مهارهای تای‌بک عناصر سازه‌ای هستند که جهت انتقال بار کششی اعمال شده به زمین بکار برده و اجزاء اصلی آن‌ها شامل طول نامقید، و طول مقید است. سایر اجزاء یک مهار در شکل ۲-۲ نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است در مهارها اجزاء تشکیل دهنده رأس[1] مهار، صفحهٔ باربری[2]، ناحیه‌ی شیپوری سر تای‌بک[3] که نیروی پیش‌تنیدگی را از تاندون پیش‌تنیده به دیوار انتقال می‌دهد، می‌باشند.

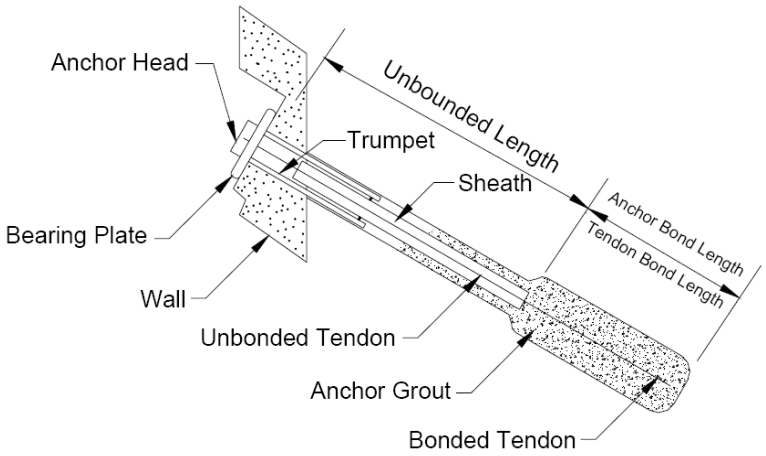
۴- ساخت رخپوش (شاتکریت روی یک شبکه فلزی جوش داده شده یا بتن الیافی) روی دیوار یا نصب صفحات پیش ساخته (یا پانل) که می‌توانند به لحاظ معماری شکل‌های مختلفی داشته باشند.

۵- اجرای دوباره مراحل ۲ -۴ تا عمق مورد نظر حفاری.



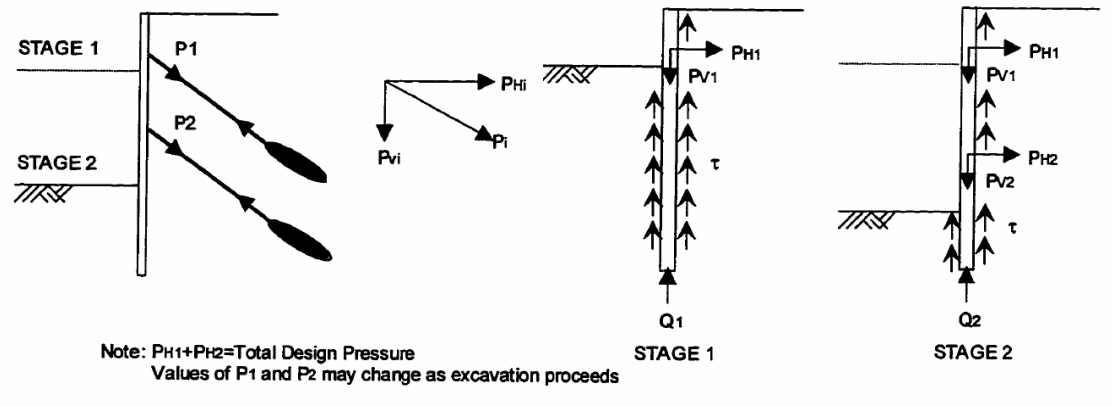
شکل ۲-۱- مراحل ساخت سازه نگهبان مهار شده

[1] Head
[2] Bearing plate
[3] Trumpet



شکل ۲-۲- اجزاء تشکیل دهنده مهار[۳]

طی فرآیند حفاری نیروها توسط مهارها به دیوار نگهبان تای‌بک انتقال می‌یابد. با توجه به مایل بودن مهارها، مؤلفه‌های افقی و قائم بارهای مهار به المان دیوار انتقال یافته و در امتداد المان اصطکاک بسیج می‌شود. زمانی‌که حفاری ادامه می‌یابد، مساحت ناحیه‌ای از المان دیوار که اصطکاک در امتداد آن بسیج می‌شود کاهش یافته، و در نتیجه بار انتقالی به کف دیوار افزایش می‌یابد. به همین ترتیب مقاومت رأس دیوار طی فرآیند حفاری، نصب و پیش‌تنیده شدن مهارها مطابق شکل ۲-۳ افزایش می‌یابد.



شکل ۲-۳- نیروهای وارد بر دیوار طی فرآیند حفاری[۴]

۲-۳ مطالعات پایداری استاتیکی

به طور کلی مطالعات نظری استاتیکی انجام گرفته در زمینه رفتار سازه‌های نگهبان مهار شده را می‌توان به موارد زیر تقسیم‌بندی نمود:

۱. نموگرام‌های تجربی فشار جانبی خاک
۲. منحنی‌های نیرو- جابجایی
۳. روش‌های تعادل حدی
۴. روش‌های عددی

۲-۳-۱ نموگرام‌های تجربی فشار جانبی خاک

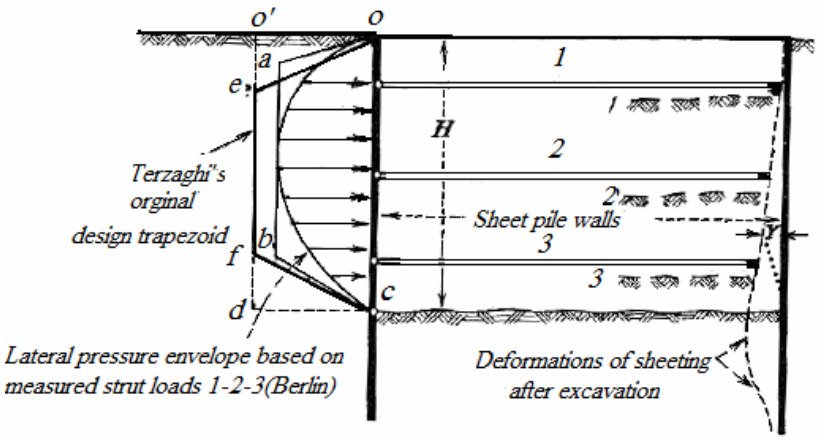
بارهایی که طراحی سازه‌های نگهبان را کنترل می‌کنند بطور کلاسیک بر اساس تئوری کلمب، رانکین یا سطح گسیختگی مارپیچ لگاریتمی تعیین می‌شوند؛ ولی بسته به بافت و لایه‌بندی و دیگر مشخصات خاک، نتایج بدست آمده از این روش‌ها می تواند با فشار جانبی اندازه‌گیری شده خیلی متفاوت باشد. توزیع فشار جانبی خاک در دیوارهای تای‌بک متفاوت با توزیع فشار کلاسیک می‌باشد، به گونه‌ای که این توزیع به سختی دیوار، رابطه تغییر مکان - بار مهار، مراحل ساخت، پیش‌تنیدگی مهار، به علاوه خواص خاک پشت دیوار بستگی دارد.

در اوایل قرن بیستم جهت ساخت متروی نیویورک در ایالت متحده آمریکا، گودبرداری‌های عمیق و مهار شده در خاک غیر چسبنده ایجاد شد. با توجه به این عملیات مشخص شدکه توزیع مثلثی کلمب برای فشار جانبی خاک مطابق با واقعیت نیست، حتی در شرایطی که مهارهای فوقانی برای دو برابر مقادیر بدست آمده از توزیع فشار جانبی کلمب طراحی می‌شدند، همچنان تحت تنش‌های بیش از اندازه قرار داشتند. با توسعه آزمایشات مدل بزرگ مقیاس ترزاقی توسط تیلور در دهه ۱۹۳۰، مشاهده شد برای دیواری که حول پنجه‌اش دوران می‌کند، یا اینکه تحت جابجایی افقی قرار دارد توزیع فشار کلمب صحیح می‌باشد، در حالیکه در شرایط دوران حول انتهای فوقانی دیوار نه تنها توزیع فشار جانبی بصورت سهموی است، بلکه در مقایسه با فشار کلمب افزایشی محسوسی در فشار جانبی مشاهده می‌شود. اندازه‌گیری‌ها نشان داد که تغییر مکان‌های جانبی سپرها در گودبرداری مهار شده مطابق با شرایط دوران دیوار حول انتهای فوقانی‌اش است[۵].

Spilker نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده در حین ساخت متروی برلین در رسوبات ماسه‌ای عمیق را گزارش نمود[۶]. طبق گزارشات مذکور بارهای مهار[1]های مربوط به سه ایستگاه اندازه‌گیری بطور قابل ملاحظه‌ای

[1] Strut

متفاوت بودند. ترزاقی با تحلیل این نتایج، پیشنهاد داد که از پیوستگی قائم سپرها و تیرهای پشت‌بند[1] صرف نظر شود و توزیع فشار جانبی با استفاده از بار پایه‌ها و با فرض مفصل‌هایی در سپرهای قائم مقابل هر پایه محاسبه شود. پوش بدست آمده شکل سهموی داشت که ترزاقی برای اهداف طراحی توزیع فشار ذوزنقه‌ای oefc نشان داده شده در شکل ۲-۴ را پیشنهاد نمود[۷].



شکل ۲-۴- دیاگرام فشار جانبی ترزاقی برای ماسه [۷]

ترزاقی در سال ۱۹۴۸، اندازه‌ی cd را در شکل ۲-۴ به $cd=0.8\cos\delta\gamma Hk_a$ افزایش داد، که δ زاویه اصطکاک دیوار و k_a ضریب فشار جانبی خاک در حالت محرک است[۹].

پک در سال۱۹۶۷، و در سال ۱۹۶۹ مطابق شکل ۲-۴ توزیع فشار مستطیلی را به جای توزیع ذوزنقه‌ای و استفاده از $cd=0.65\gamma Hk_a$ را (در مورد خاک ماسه‌ای) پیشنهاد نمود[۹ و ۹۱۰].

پک در سال ۱۹۴۳، اندازه‌گیری‌های گسترده فشار جانبی در حفاری باز در رس پلاستیک، در حین ساخت متروی شیکاگو را گزارش نمود. ترزاقی و پک با استفاده از این نتایج توزیع فشار ذوزنقه‌ای را پیشنهاد نمودند که مشابه بود با آنچه که قبلاً ترزاقی برای ماسه پیشنهاد داده بود. مطابق با این نمودار بیشترین مقدار فشار جانبی $p_h=\gamma Hk_a$ می‌باشد که در آن H عمق کل حفاری و $K_a=1-(2q_a/\gamma H)$ است. نمودار مربوط به توزیع فشار جانبی ترزاقی- پک مطابق با اولین اندازه‌گیری‌های انجام شده در شیکاگو در شکل (۲-۵-الف) نشان داده شده است[۱۱]. اندازه‌گیری‌های بعدی بویژه در Olso، نروژ و مکزیکوسیتی باعث شد پک در سال ۱۹۶۹ دیاگرام طراحی شکل (۲-۵- ب) را توصیه کند، بطوریکه فشار جانبی بوسیله $\gamma H\text{-}m4c_a$ داده می‌شود که ضریب m بین

[1] Soldier beams