



مطالعه عددی پایداری گودهای عمیق به روش میخ کوبی با ارائه جداول و نمودارهای کمک طراحی

سید حمید لاجوردی^{۱*}، سید شایان آزادی منش^۱، ابوالقاسم معزی^۲

^۱ دانشکده مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

^۲ دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه قم، قم، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۶ تیر ۱۳۹۵
بازنگری: ۱ بهمن ۱۳۹۵
پذیرش: ۲۰ بهمن ۱۳۹۵
ارائه آنلاین: ۱۶ فروردین ۱۳۹۶

کلمات کلیدی:

پایداری گود
میخ کوبی
جداول و نمودارهای طراحی
مدل سازی عددی

چکیده: در سال‌های اخیر به علت شتاب گرفتن ساخت و ساز ساختمان‌های بلند در اکثر کلان شهرها، گودبرداری‌های عمیق و نیمه عمیق در پروژه‌های عمرانی انجام می‌شود. پایداری جداره گود جزو ضروریات یک پروژه می‌باشد که در مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان نیز به آن اشاره شده است. روش‌های مختلفی برای این پایداری وجود دارد که به شرح زیر می‌باشند: روش خریابی، مهار متقابل، سپرکوبی، اجرای شمع، دیوار دیافراگمی و سیستم مهار به پشت و میخ کوبی. نبود مرجعی کامل برای طراحی مقدماتی دیوار میخ کوبی شده در شرایطی که عمق گود، سربار کنار گود و نوع خاک متفاوت باشد می‌تواند از دغدغه‌های بسیاری از طراحان، کارفرمایان و مجریان باشد. این جداول و نمودارها می‌توانند همانند آنچه که مهندسین مشاور اینترکان در مورد سازه‌های نگهبان خریابی ارائه نموده‌اند، دید اولیه خوب و مناسبی به دست اندرکاران صنعت ساختمان بدهد.

در این مقاله با تغییر مشخصات مقاومتی خاک (چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی) در محدوده خاک‌های متداول و هم‌چنین انواع سربار کنار گود (ماکزیمم معادل یک ساختمان شش طبقه)، برای گودهای با عمق مختلف (ماکزیمم تا پنج طبقه زیر زمین)، طراحی انجام شده است. برای هر گود با مشخصات متفاوت بر اساس آیین‌نامه‌های معتبر، چندین مدل (به طور متوسط ۵۰ مدل) در نرم افزارهای تعادل حدی (جهت محاسبه ضریب اطمینان) و الوان محدود (جهت محاسبه تغییر شکل و نیرو) بررسی شده تا طراحی‌ها اقتصادی باشند و در نهایت منجر به ارائه جداول و نمودارهای کمک طراحی شده است. سیستم میخ کوبی برای گودهای تا عمق ۱۳ m با سربار حداکثر 60 kN/m^2 (معادل ساختمان ۶ طبقه) در زمین‌هایی که مناسب این روش هستند جوابگو بوده، اما برای اعماق و یا سربارهای بیشتر نیاز به سیستم‌های ترکیبی (به طور مثال سیستم ترکیبی میخ کوبی و انکر) می‌باشد.

۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین مشکلات و دغدغه‌های موجود در احداث سازه‌ها، حفاظت از گودبرداری و ساختمان‌های مجاور می‌باشد [۱]. در بسیاری از پروژه‌های ساختمانی به‌ویژه در مناطق شهری لازم است که زمین به صورتی خاک برداری شود که دیواره آن قائم باشد. استفاده از روش میخ کوبی خاک^۱، از حدود سه دهه اخیر آغاز شده و تاکنون نیز به عنوان یک تکنیک موثر برای پایداری ترانشه‌ها و حفاظت از گودها مورد توجه قرار گرفته است. میخ کوبی دیواره‌ها، به معنای تسلیح برجای خاک با نصب میلگردهای فولادی نزدیک به هم در یک سطح شیب‌دار یا در محل گودبرداری می‌باشد. عملیات میخ کوبی یک مقطع مسلح پایدار ایجاد می‌کند که توانایی نگهداری خاک پشت خود را دارد. این مسلح

سازی به صورت مقاوم^۲ عمل کرده و اثر خود را از طریق اندرکنش خاک-میلگرد حاصل از ایجاد تغییر شکل در خاک اعمال می‌کند.

اثر مسلح سازی برای بهبود پایداری با دو عملکرد زیر حاصل می‌شود [۲]:

- افزایش نیروی قائم و در نتیجه مقاومت برشی در سطح لغزش، در خاک‌های اصطکاکی
- کاهش نیروی رانشی در سطح لغزش در خاک‌های اصطکاکی و چسبنده

محققین بسیاری مطالعات عددی و آزمایشگاهی متنوعی را برای پایداری دیوارهای گودبرداری شده به روش سیستم‌های میخ کوبی و مهاری انجام داده اند [۳ و ۴]. اولین نوشتار و تحقیقات پیرامون دیوارهای میخ کوبی شده در سال ۱۹۹۱ منتشر شد. در سال ۲۰۰۳ آیین‌نامه سازمان اداره راه آمریکا^۳ منتشر شد که شامل نکاتی برای طراحی بود. این آیین‌نامه نمودارهای اولیه

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: sh-lajevardi@iau-arak.ac.ir

2 Passive

3 Federal Highway Administration (FHWA)

1 Soil Nailing Method

طراحی را نیز ارائه کرد که برای گودهای بدون سربار، مقادیر اولیه طول میخ‌ها و نیروی محوری ایجاد شده را نشان می‌دهد. با بررسی منابع موجود برای طراحی دیوارهای میخ‌کوبی شده ملاحظه شد که بزرگ‌ترین تحقیق انجام گرفته بر روی دیوارهای میخ‌کوبی شده مطالعات گسترده سازمان اداره راه آمریکا می‌باشد. در این مطالعه به بررسی رویکردهای طراحی و اجرایی دیوارهای میخ‌کوبی شده در مناطق غیر شهری و جاده‌ای پرداخته‌اند [۵].

در تحقیقی بر روی مصالح دیوار میخ‌کوبی شده، نشان داده شد که میلگردها در سیستم میخ‌کوبی ذاتاً در کشش کار کرده و کشش ایجاد شده درون آن‌ها ناشی از اصطکاک موجود بین میخ و خاک می‌باشد. همچنین نشان داده شد که میلگردها تا حدی هم در خمش و برش کار می‌کنند [۶]. مطالعه‌ای بر روی رفتار سیستم میخ‌کوبی در دیواره گودبرداری انجام شده است که گودها با خاک سست و دستی بوده‌اند. برای این رفتار نگاری، از انحراف‌سنج‌ها، چاه‌های مشاهده‌ای و نشانگرهای تغییر شکل سطحی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که دیواره میخ‌کوبی شده مورد نظر رفتار قابل قبولی در خاک سست دستی داشته است [۷].

در تحقیقی محققان به بررسی انجام تقویت برشی عمودی دیواره گود با استفاده از روش میخ‌کوبی تحت زلزله پرداخته‌اند که دیوار با المان محدود آنالیز شده و تحت آنالیز استاتیکی و دینامیکی قرار گرفته است. نتیجه‌گیری عددی نشان داد که برای پایداری دیواره گود تحت شرایط زلزله، دیوار میخ‌کوبی شده سیستم مطلوبی می‌باشد [۸].

در مطالعه‌ای دیگر، اثر سربار بر روی مقاومت بیرون کشیدگی میخ بررسی شده که نتیجه‌گیری نشان می‌دهد مقاومت بیرون کشیدگی میخ به میزان سرباری که به میخ‌ها تحمیل می‌شود ربطی ندارد [۹].

سیستم طراحی و آنالیز در این تحقیق استفاده همزمان از دو نرم افزار می‌باشد. نرم افزار Geoslope، کمک می‌کند تا ضریب اطمینان^۱ برای دیواره گود به دست آید و چنانچه در محدوده قابل قبول باشد، با نرم‌افزار المان محدود Plaxis، جابه‌جایی قائم و افقی دیواره گود و نیروی محوری میخ‌ها کنترل می‌شود.

۲- ملاحظات اولیه طراحی دیواره میخ‌کوبی

در طراحی دیواره میخ‌کوبی نیاز به پیش فرض‌های عمومی در مورد مشخصات طراحی می‌باشد. در این بخش مقادیر اولیه‌ای جهت تعیین فرضیات طراحی بر اساس حدود توصیه شده در آیین‌نامه‌ها و توصیه‌نامه‌ها ارائه گردیده است [۵].

- شیب دیواره گود ۹۰ درجه.
- تعیین فواصل افقی و قائم بین میخ‌ها از ۱ تا ۲ متر جهت اجرای آسان تر به طوری که حاصل ضرب آنها بیش از ۴ متر مربع نباشد.
- الگوی قرار گرفتن میخ‌ها به صورت مستطیلی.
- طول میخ‌ها $H/5$ تا H .

1 Safety factor

• در پایین ارتفاع دیواره گود از طول‌های کوتاه‌تر میخ استفاده می‌شود. توصیه شده است که هیچ‌گاه نباید از میخ‌های کوتاه تر از نصف ارتفاع دیوار استفاده کرد زیرا احتمال شکست لغزشی را افزایش می‌دهد.

• تعیین بارهای وارده.

• با توجه به اینکه سازه نگهبان موقت است، نیروهای زلزله دخالت داده نمی‌شود و حداقل ضریب اطمینان پایداری $1/35$ در نظر گرفته می‌شود.

۳- روند طراحی

روند بدست آوردن جداول و نمودارهای کمک طراحی که در این مقاله ارائه خواهند شد به این صورت است که چند عامل طراحی^۲ در نظر گرفته شده و با تغییر آن‌ها، سیستم میخ‌کوبی مناسب برای هر حالت طراحی شده است. لازم به ذکر است که برخی پارامترهای خاک مانند مدول الاستیسیته، وزن مخصوص و ضریب پواسون در محدوده مناسب، ثابت در نظر گرفته شده است. در ادامه برای مشاهده نتایج طراحی‌های ارائه شده، ضرایب اطمینان و جابه‌جایی افقی حاصل از طراحی بر حسب تغییرات چسبندگی خاک روی نمودار رسم شده است.

۳-۱- نکات استفاده از جداول و نمودارهای کمک طراحی

• در صورتی که برای پروژه مورد نظر مقادیر ارتفاع گود، سربار، مقاومت چسبندگی خاک و یا زاویه اصطکاک داخلی بین دو تا از اعداد ارائه شده در قسمت (۳-۲) قرار گیرد از منحنی مربوط به عدد بزرگتر استفاده می‌شود، وگرنه باید به جای استفاده از منحنی و جداول کمک طراحی، با توجه به مبانی محاسباتی ارائه شده، سیستم میخ‌کوبی توسط طراح محاسبه و طراحی شود.

• مقدار سربار ناشی از ساختمان مجاور باید با توجه به بارهای زنده و مرده وارد بر هر طبقه آن محاسبه شده و این مقدار برای کلیه سقف‌ها محاسبه شود.

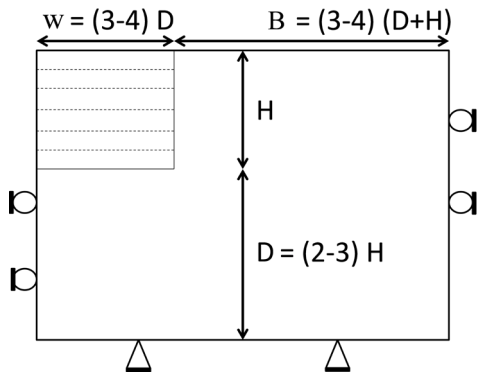
• سربار صفر نشان دهنده آن است که مقدار سربار ناچیز و قابل صرف‌نظر کردن است و الزاماً به معنای آن نیست که در مجاور گود زمین یا معبر وجود دارد. همچنین برای زمین یا معبر مجاور گود، الزاماً سربار صفر نیست، بلکه باید آن را با قضاوت مهندسی و نیز در صورت لزوم و امکان با آیین‌نامه‌های مربوط مقدار تخمینی آن بررسی شود.

متغیرهای طراحی

- ارتفاع گود (m) : ۴، ۷، ۱۰، ۱۳ و ۱۶ (معادل تعداد طبقات منفی یک تا پنج)

2 Design Factor

میخ‌ها، مش‌بندی طی چند مرحله ریزتر شده است. برای شرایط مرزی به لحاظ پایدار ماندن فیزیکی مدل، بایستی جلوی حرکت صلب مدل را با به وجود آوردن شرایط تکیه‌گاهی منطبق بر واقعیت، گرفت. در این تحقیق خاک در مرز چپ و راست، قابلیت حرکت در جهت قائم را دارد ولی در مقابل تغییر مکان‌های جانبی محدود شده است. تغییر مکان خاک کف (مرزپایین) نیز در جهت قائم و افقی محدود می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱: مرزهای مش‌بندی و شرایط گیر داری [۱۰]

Fig. 1. Meshing boundaries and fixed conditions

۵-۲- مدل رفتاری خاک

به منظور مدلسازی رفتار تنش-کرنش خاک، مدل ساختاری الاستوپلاستیک، به همراه معیارگسیختگی موهركولمب بکار رفته است. یکی از دلایل این انتخاب سادگی مدل می‌باشد. پارامترهای اصلی این مدل C (چسبندگی) و Φ (زاویه اصطکاک داخلی) می‌باشند که از طریق آزمایش‌های معمول مکانیک خاک بدست می‌آیند. در این مدل پارامترهای دیگری مثل وزن مخصوص، مدول الاستیسیته و ضریب پواسون مورد نیاز می‌باشد. لازم به ذکر است در این تحقیق مشخصات خاک‌های مورد بررسی برای طراحی‌های مقدماتی، در دامنه خاک‌های مناسب برای اجرای سیستم میخ‌کوبی می‌باشد. محدوده پارامترهای در نظر گرفته شده برای خاک‌های مورد بررسی در جدول ۱ مشخص شده است.

جدول ۱: محدوده تغییرات پارامترهای خاک

Table 1. Range of changes in soil parameters

مشخصات خاک	محدوده بررسی
چسبندگی (kPa)	۱۰-۳۰
زاویه اصطکاک داخلی (درجه)	۲۷-۳۹
مدول الاستیسیته (MPa)	۳۰
وزن مخصوص (kN/m^3)	۱۹
ضریب پواسون	۰/۳

- سربار کنار گود (kN/m^2): ۰، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ (معادل ساختمان‌های تا حداکثر شش طبقه)
- مقاومت چسبندگی خاک (kPa): ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ (بر مبنای چسبندگی خاک‌های مناسب اجرای سیستم میخ‌کوبی)
- زاویه اصطکاک داخلی خاک: ۲۷، ۳۱، ۳۵، ۳۹ درجه (بر مبنای خاک‌های مناسب این سیستم توصیه شده در آیین‌نامه اداره راه آمریکا)

۴- محاسبه ضریب اطمینان پایداری

در این مقاله روش مورد نظر جهت محاسبه ضریب اطمینان پایداری روش مورکنسترن-پرایس^۱ انتخاب شده است. در نرم افزار Geoslope پس از انجام تنظیمات اولیه، به رسم هندسه خاک طبق ابعاد مدل همان محدود پرداخته شده است. مدل رفتاری خاک موهركولمب^۲ در نظر گرفته شده است. برای رسم هر میخ در این نرم‌افزار مشخصات هندسی میخ اعم از طول، زاویه با افق و مقاومت محوری معین شده است. سپس به رسم سربار موجود در اطراف گود و ترسیم شبکه‌بندی پرداخته شده است. با اجرای مدل، ضریب اطمینان پایداری محاسبه شده است.

لازم به ذکر است توسط نرم‌افزار همان محدود در انتهای مراحل فازبندی می‌توان با تعریف یک فازنهایی ضریب اطمینان پایداری را توسط نرم‌افزار Plaxis محاسبه نمود. ضریب اطمینان حاصل از نرم‌افزار همان محدود Plaxis کاملاً متفاوت از ضریب اطمینان حاصل از نرم‌افزار تعادل حدی (Geoslope) می‌باشد. در نرم‌افزار Plaxis برای محاسبه ضریب اطمینان پارامترهای مقاومتی خاک یعنی زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی را تا حدی کاهش می‌دهد که گوه گسیختگی تشکیل شود. در نهایت با مقایسه زاویه اصطکاک خاک و چسبندگی اولیه و مقدار کاهش یافته آن‌ها که باعث بروز گوه‌گسیختگی شده است، ضریب اطمینان را محاسبه می‌کند.

۵- مدل عددی

برای محاسبه تغییر شکل خاک و مقدار نیروی محوری در میخ‌ها از مدل عددی همان محدود (نرم‌افزار Plaxis) استفاده شده است.

۵-۱- مدل هندسی

به منظور کاهش هرچه بیشتر اثر مرزهای مدل عددی بر روی نتایج، ابعاد مدل و مرزبندی آن بایستی شرایط نشان داده شده در شکل ۱ را مرتفع نمایند.

در این مقاله برای مش‌بندی از همان‌های مثلثی ۱۵ گرهی جهت ارائه نتایج دقیق‌تر استفاده شده است. برای تراکم مش‌بندی درشتی مش‌ها از نوع متوسط انتخاب شده و در قسمت‌های دارای تمرکز تنش مانند اطراف

1 Morgan strain- price
2 Mohr-Coulomb

۵-۳- مدل سازی المانهای سازه‌ای

۵-۳-۱- رویه دیوار میخ کوبی شده

این رویه بصورت بتن پاششی (شاتکریت) می‌باشد با المان صفحه مدل‌سازی شده است، که علاوه بر سختی محوری دارای سختی‌خمشی نیز می‌باشد. پارامترهای بکار رفته جهت مدل‌سازی المان صفحه برای رویه دیواره در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: پارامترهای المان صفحه برای مدل‌سازی رویه

Table 2. Parameters of plate element for shotcrete modeling

سختی محوری (kN/m)	$3/150 \times 10^6$
سختی خمشی (kN/m ² /m)	۵۹۰۶/۲۵
مدول الاستیسیته (GPa)	۲۱
ضخامت (mm)	۱۵۰
ضریب پواسون	۰/۱۵

۵-۳-۲- میخ‌ها

بنا به توصیه‌های ارائه شده در نشریه ۲۵ نرم‌افزار Plaxis مبنی بر استفاده از المان صفحه برای مدل‌کردن میخ‌ها، به منظور در نظر گرفتن سختی خمشی میخ‌ها و صلبیت اتصال رویه و میخ، در این تحقیق از المان صفحه جهت مدل‌سازی میخ‌ها نیز استفاده شده است. مهم‌ترین پارامترهای المان صفحه که برای مدل‌کردن میخ‌ها به کار می‌رود، سختی خمشی و سختی محوری می‌باشند.

برای تعیین مقدار سختی خمشی (EI) و سختی محوری (EA) در نرم‌افزار Plaxis دو روش در نظر گرفته شده است:

۱- روش سختی معادل (E_{eq}) که معادلات آن به صورت زیر است:

$$E_{eq} = E_n (A_n/A) + E_g (A_g/A) \quad (1)$$

$$EA \text{ (kN/m)} = E_{eq} ((\pi D_{DH}^2)/4) \quad (2)$$

$$EI \text{ (kNm}^2\text{/m)} = E_{eq} ((\pi D_{DH}^4)/64) \quad (3)$$

در معادله ۱، E_n مدول الاستیسیته میخ (فولاد)، E_g مدول الاستیسیته دوغاب تزریقی در اطراف میخ، A_n سطح مقطع میخ و A_g سطح مقطع دوغاب می‌باشد. در معادله ۲ و ۳ D_{DH} قطر سوراخ حفاری برای نصب میخ می‌باشد.

۲- روش معادلات موجود در آیین نامه بتن آمریکا^۲ برای محاسبه سختی خمشی و سختی محوری که این معادلات به صورت زیر تعریف

می‌شوند:

$$EA \text{ (kN/m)} = E_n A \quad (4)$$

$$EI \text{ (kNm}^2\text{/m)} = E_n I \quad (5)$$

در معادلات بالا E_n مدول الاستیسیته میخ‌ها که از جنس فولاد می‌باشد، A سطح مقطع میخ‌ها I ممان اینرسی مقطع میخ‌ها می‌باشد.

همان‌طور که در روش اول مشاهده می‌شود، در محاسبه سختی محوری و سختی خمشی مدل الاستیسیته دوغاب مد نظر قرار داده شده است اما به دو دلیل در معادلات بکار رفته در محاسبه سختی محوری و سختی خمشی از مدل الاستیسیته دوغاب صرف نظر می‌شود. اولاً دوغاب موجود در اطراف میخ‌ها در ظرفیت محوری میخ‌ها تاثیر ندارند، زیرا دوغاب پس از تزریق به دلیل جمع شدگی و ایجاد ترک هم‌زمان با میخ‌ها کار نمی‌کند، ثانیاً دوغاب ظرفیت خمشی ندارد بنابراین فرض بر این است کل نیروی کششی توسط میلگرد تحمل می‌شود و دوغاب نقش منتقل‌کننده تنش را خواهد داشت.

با توجه به توضیحات فوق در این تحقیق برای محاسبه مقدار سختی خمشی و سختی محوری از روش معادلات موجود در آیین نامه بتن آمریکا استفاده شده است.

۵-۴- انجام محاسبات و بررسی مدل‌ها

این مرحله شامل انجام محاسبات و بررسی مدل‌ها و تاثیر پارامترهای مختلف بر رفتار سیستم میخ کوبی، نیروی به وجود آمده در میخ‌ها، تمرکز تنش اطراف میخ‌ها و مشاهده میزان جابه‌جایی در دیواره گود می‌باشد. نکته قابل توجه برای فازبندی و انجام محاسبات این است که در گودهای دارای سربار ابتدا آن را فعال نموده و برای جلوگیری از ایجاد تغییرشکل ناشی از سربار در محیط خاکی، قبل از انجام گودبرداری در مرحله اول، جابه‌جایی خاک صفر در نظر گرفته می‌شود.

برای تعریف فازهای طراحی چون فاصله زمانی کوتاهی بین برداشتن خاک، نصب میخ‌ها و اجرای بتن پاششی (شاتکریت) می‌باشد، برداشت خاک، فعال کردن میخ‌ها و فعال کردن بتن پاششی برای هر مرحله فازبندی در یک فاز انجام می‌شود.

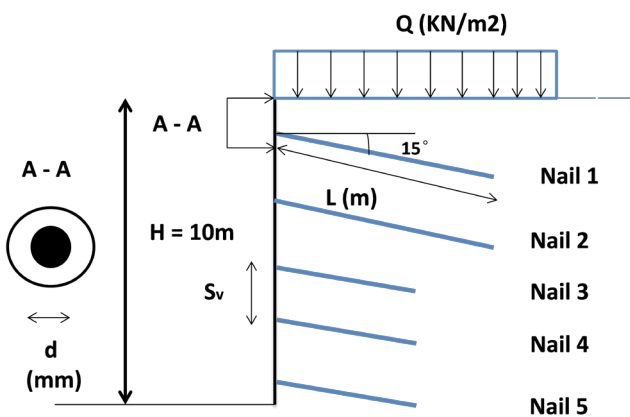
برای بررسی رفتار دیوار میخ کوبی شده در ادامه پس از انجام فاز بندی و گام‌های محاسباتی با اجرای نرم افزار محاسبات انجام می‌شود. پس از پایان محاسبات، نتایج اعم از تغییر شکل‌های به وجود آمده پس از گودبرداری و اجرای سیستم میخ کوبی، تنش‌های موجود و نیروهای محوری به وجود آمده در تمام میخ‌ها مشاهده شده است.

لازم به ذکر است یکی از کنترل‌های مهم در بحث دیوارهای میخ کوبی شده، کنترل نیروی محوری به وجود آمده در میخ‌ها می‌باشد. مقدار نیروی محوری گزارش شده در هر میخ در فاصله افقی موجود بین میخ‌ها ضرب شده سپس با ظرفیت محوری میخ مورد نظر مقایسه شده تا بیش از مقدار

شده است. به طور مثال برای خاک با چسبندگی 10 kPa و زاویه اصطکاک داخلی 35° درجه و سربار 40 kN/m^2 مشخصات میخ‌ها اعم از طول، قطر و فواصل عمودی و افقی با میخ‌های مجاور در جدول ۳ قابل مشاهده است. میخ شماره ۱ به طول 9 m و قطر 28 mm در حالی که میخ شماره ۵ دارای طول 6 m و قطر 40 mm می‌باشد. همچنین جابه‌جایی افقی و ضریب اطمینان این طراحی نیز برای خاک‌هایی با چسبندگی بیشتر در نمودارهای طراحی شکل شماره ۳ و ۴ قابل مشاهده است.

به همین ترتیب می‌توان برای گودهایی با اعماق متفاوت، خاک‌هایی با چسبندگی و زاویه اصطکاک مختلف و هم‌بسط سربارهای متفاوت که در جداول کمک طراحی معرفی

شده‌اند؛ طراحی سیستم میخ‌کوبی را مشاهده نمود و مقدار جابه‌جایی و ضریب اطمینان حاصل از این طراحی را با استفاده از نمودارها کنترل کرد.



شکل ۲: مشخصات دیوار میخ‌کوبی شده به عمق ۱۰ متر

Fig. 2. Properties of nailing wall to depth 10 m

۶-۲- جابه‌جایی افقی خاک برای گود ۱۰ متر

جابه‌جایی افقی مدل‌های طراحی شده، با توجه به سربارها و خاک‌های مختلف ارائه شده است (شکل ۳). این شکل نشان می‌دهد برای انواع زاویه اصطکاک داخلی خاک (Φ) جابه‌جایی افقی در حد مجاز بوده (به طور مثال برای گود به عمق 10 m حداکثر جابه‌جایی 50 mm می‌باشد) و با افزایش چسبندگی خاک (C) میزان جابه‌جایی افقی دیواره گود کاهش یافته است.

مجاز نباشد. اگر مقدار نیروی محوری به وجود آمده در میخ‌ها بیش از ظرفیت محوری میخ بود می‌توان قطر میخ را افزایش و یا فاصله افقی آن با میخ‌های کناری را کاهش داد.

۶- طراحی و تحلیل یک دیوار میخ‌کوبی شده

مقدار در نظر گرفته شده برای چسبندگی خاک در جداول کمک طراحی مقدار بحرانی برابر 10 kPa می‌باشد و بقیه پارامترهای خاک در جدول ۱ ارائه شده‌اند. در این مقاله خاک در هر ارتفاعی همگن فرض شده است.

اگر میخ خاک‌های نصب شده در بخش بالایی (معمولا بالاتر از $H/66$) بلندتر از میخ‌های پایینی باشند، جابه‌جایی در دیوار به صورت چشمگیری کاهش می‌یابد. میزان تغییر مکان افقی (جابه‌جایی افقی) مجاز در دیواره، طبق آیین نامه اداره راه آمریکا باید کمتر از $0.05 H$ باشد.

جنس میخ‌ها از فولاد با مقاومت کششی اسمی 420 MPa می‌باشد. در این مقاله میخ‌ها با زاویه 15° درجه نسبت به افق نصب شده‌اند. در شرایط پروژه‌های ممکن است به علت وجود تاسیسات زیر زمینی این زاویه تغییر داده شود که محدوده این تغییر در محدوده 10° تا 20° درجه باید انتخاب شود تا تزیق دوغاب از انتهای چال تا سر میخ به راحتی انجام شود.

مهندس طراح می‌بایست حداقل فاصله افقی و قائم را به یک متر محدود نماید. هدف اصلی از ایجاد محدودیت حداقل فاصله میخ‌ها اطمینان از تاثیر مجموعه بر روی هم و کاهش احتمال تداخل میخ‌ها در صورت انحراف چالزنی می‌باشد. قطر چال حفاری 100 mm در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است فاصله نصب اولین میخ از لبه گودبرداری برای تمامی مدل‌ها یک متر در نظر گرفته شده است. همچنین در هر مرحله (فاز) دو متر عملیات خاک‌برداری انجام می‌شود.

۶-۱- مشخصات طراحی مقدماتی سیستم میخ‌کوبی برای گود به عمق ۱۰ متر

در این قسمت به عنوان مثال گود 10 متری بررسی شده و سایر گودها را می‌توان در پیوست مشاهده نمود. شکل ۲ به صورت شماتیک مشخصات دیوار میخ‌کوبی شده به عمق 10 متر را نشان می‌دهد.

جدول ۳ برای معرفی مشخصات طراحی میخ‌ها در مورد گود 10 متر ارائه شده است. در این جدول طراحی مقدماتی، فاصله عمودی میخ‌ها از هم (S_v) به صورت ثابت 2 متر

می‌باشد. فاصله افقی میخ‌ها از هم (S_H) حداکثر 2 متر و حداقل $1/5$ متر در نظر گرفته شده است. به منظور کنترل بهتر جابه‌جایی، توزیع طولی میخ‌ها غیر یکنواخت بوده و طول میخ‌های فوقانی بیشتر می‌باشد. در سیستم میخ‌کوبی نیروی محوری وارد شده به میخ‌های پایینی (میخ‌های شماره ۴ و ۵) بیشتر بوده به همین علت قطر میخ‌های پایینی بیشتر در نظر گرفته

جدول ۳: مشخصات اولیه طراحی میخها برای گود به عمق ۱۰ متر

Table 3. initial design property of the nails for a depth of 10 meters

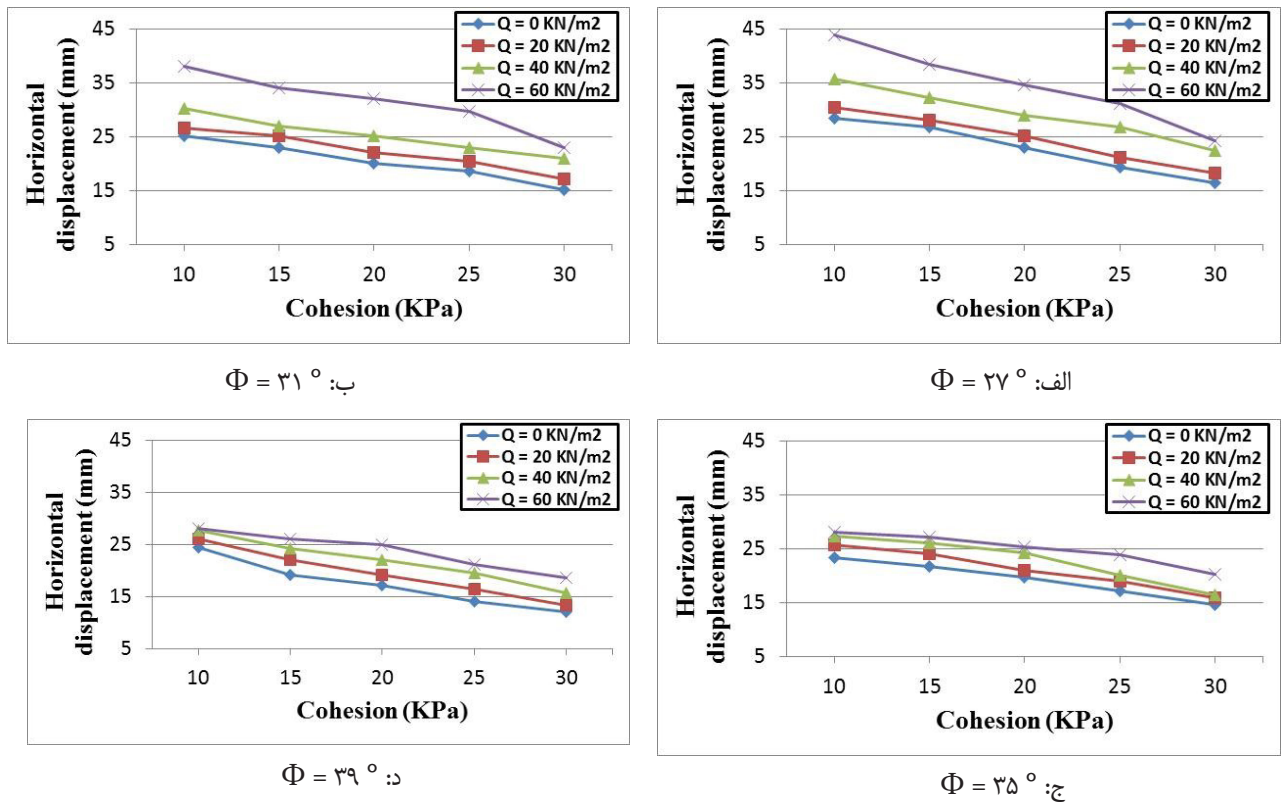
Φ	Q (kN/ m ²)	Nail ۱				Nail ۲				Nail ۳				Nail ۴				Nail ۵			
		L	d	s _v	s _h	L	d	s _v	s _h	L	d	s _v	s _h	L	d	s _v	s _h	L	d	s _v	s _h
۲۷	۰	۸	۲۵	۲	۲	۸	۲۵	۲	۲	۷	۳۲	۲	۲	۷	۳۶	۲	۲	۶	۳۶	۲	۲
	۲۰	۹	۲۸	۲	۲	۹	۲۸	۲	۲	۷	۳۶	۲	۲	۷	۳۶	۲	۲	۶	۴۰	۲	۱/۵
	۴۰	۹	۲۸	۲	۲	۹	۲۸	۲	۲	۸	۳۶	۲	۲	۸	۴۰	۲	۱/۵	۷	۴۰	۲	۱/۵
۳۱	۰	۸	۲۵	۲	۲	۸	۲۵	۲	۲	۶	۳۲	۲	۲	۶	۳۶	۲	۲	۶	۳۶	۲	۲
	۲۰	۹	۲۵	۲	۲	۹	۲۵	۲	۲	۷	۳۶	۲	۲	۷	۳۶	۲	۲	۵	۴۰	۲	۲
	۴۰	۹	۲۸	۲	۲	۹	۲۸	۲	۲	۸	۳۶	۲	۲	۸	۴۰	۲	۱/۵	۷	۴۰	۲	۱/۵
۳۵	۰	۸	۲۵	۲	۲	۸	۲۵	۲	۲	۶	۳۲	۲	۲	۶	۳۲	۲	۲	۵	۳۶	۲	۲
	۲۰	۸	۲۵	۲	۲	۸	۲۵	۲	۲	۷	۳۲	۲	۲	۷	۳۶	۲	۲	۵	۴۰	۲	۲
	۴۰	۹	۲۵	۲	۲	۹	۲۵	۲	۲	۷	۳۲	۲	۲	۷	۴۰	۲	۲	۶	۴۰	۲	۱/۵
۳۹	۰	۷	۲۲	۲	۲	۷	۲۲	۲	۲	۶	۳۲	۲	۲	۶	۳۲	۲	۲	۵	۳۶	۲	۲
	۲۰	۸	۲۵	۲	۲	۸	۲۵	۲	۲	۶	۳۲	۲	۲	۶	۳۶	۲	۲	۵	۴۰	۲	۲
	۴۰	۸	۲۵	۲	۲	۸	۲۵	۲	۲	۶	۳۲	۲	۲	۶	۴۰	۲	۲	۵	۴۰	۲	۲
	۶۰	۸	۲۵	۲	۲	۸	۲۵	۲	۲	۷	۳۶	۲	۲	۷	۴۰	۲	۲	۵	۴۰	۲	۲

۷- نتیجه گیری

در این تحقیق با تغییر مشخصات مقاومتی خاک در محدوده خاک‌های متداول و همچنین انواع سربار کنار گود، برای گودهای با عمق مختلف، بر اساس آیین‌نامه‌های معتبر و با استفاده از دو نرم‌افزار تعادل حدی و المان محدود، (انجام بیش از ۲۵۰ مدل برای هر یک از نرم افزارها) سیستم میخ‌کوبی شده برای پایدارسازی دیواره گود طراحی گردید که در نهایت منجر به ارائه جداول و نمودارهای اولیه و کمک طراحی گردید. این سیستم میخ‌کوبی برای گودهای تا عمق ۱۳ m (چهار طبقه منفی) با سربار حداکثر ۶۰ kN/m² (معادل ساختمان ۶ طبقه) در زمین‌هایی که مناسب این روش هستند جوابگو بوده، اما برای اعماق و یا سربارهای بیشتر نیاز به سیستم‌های ترکیبی مانند ترکیب میخ‌کوبی و مهارکوبی (انکر) می‌باشد.

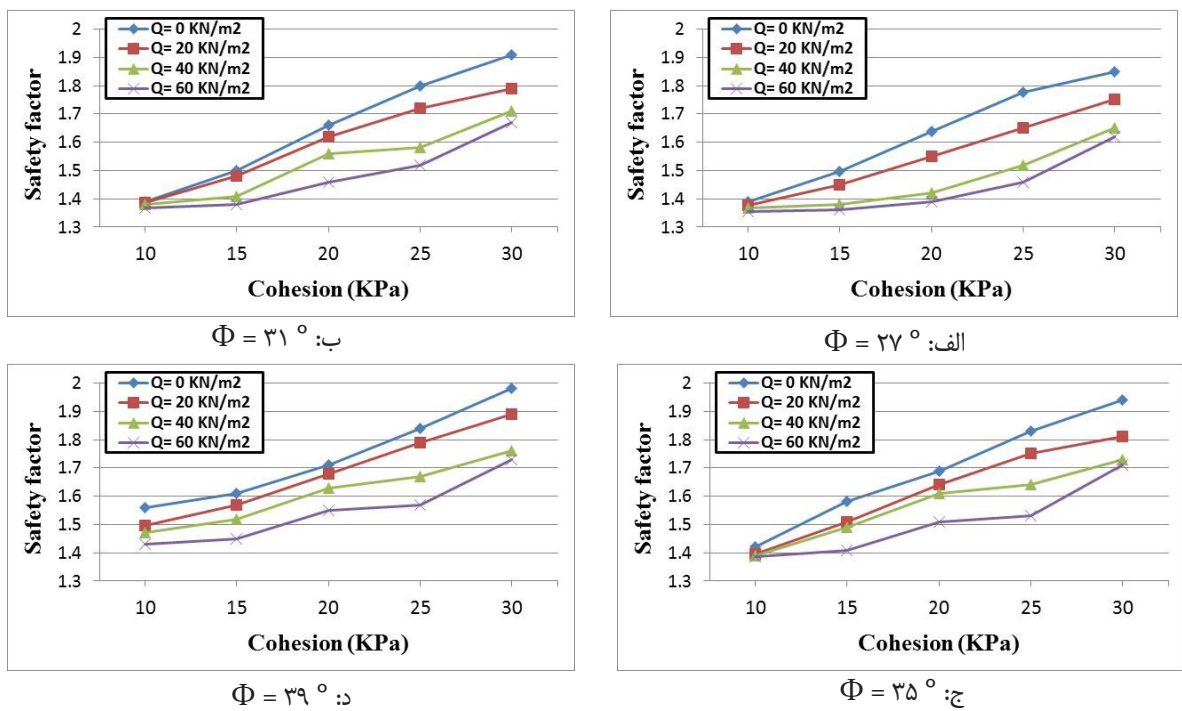
۶-۳- ضریب اطمینان برای گود ۱۰ متر

ضریب اطمینان پایداری مدل‌های طراحی شده با نرم‌افزار تعادل حدی Geoslope، با توجه به سربارها و خاک‌های مختلف ارائه شده است (شکل ۴). در هر شکل ضریب اطمینان در حد مجاز بوده (حداقل ۱/۳۵) و با افزایش چسبندگی خاک میزان ضریب اطمینان افزایش یافته است. مشاهده شد که تمام مدل‌های ساخته شده در بازه‌های مجاز ضریب اطمینان، جابه‌جایی افقی و نیروی محوری قرار گرفته‌اند. باید توجه داشت که مدل‌های ارائه شده به صورت طراحی کمکی و مقدماتی می‌باشند و اگر پروژه‌های شرایط خاص و حساسی را دارا بود، می‌بایست مشخصات طراحی‌های انجام شده را متناسب با نیازهای آن پروژه تغییر داد.



شکل ۳: تغییرات جابه‌جایی افقی دیواره با چسبندگی خاک برای گودی به عمق ۱۰ متر

Fig. 3. Horizontally displaced wall changes with soil cohesion to a depth of 10 meters



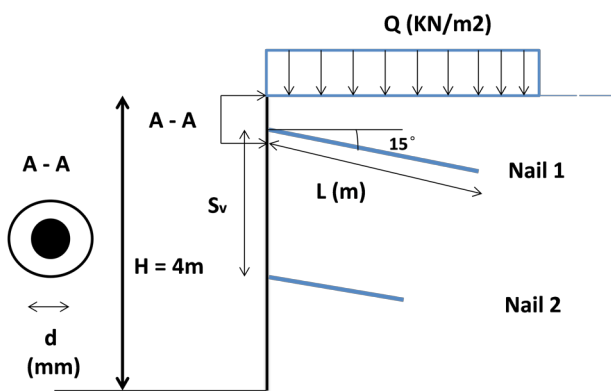
شکل ۴: تغییرات ضریب اطمینان دیواره با چسبندگی خاک برای گودی به عمق ۱۰ متر

Fig. 4. Safety factored wall Changes with soil cohesion to a depth of 10 meters

- [7] S.S. Liew, c.m. khoo, Performance of Soil Nail Stabilisation Works for a 14.5m Deep Excavation at Uncontrolled Fill Ground, in: Proceedings-DFI/EFFC 10th international conference on piling and Deep Foundations, Amsterdam, Netherlands, 2006, pp. 8.
- [8] G.L. Sivakumar Babu, S. Vikas Pratap, Numerical analysis of performance of soil nail walls in seismic conditions, ISET Journal of Earthquake Technology, (2008).
- [9] C.W.W. Negi, R.Z.B. ZHOU, M. ZHANG, The effects of soil nails in serviceability of soil nailed slopes, University of Dundee, uk, 2006.
- [10] J.L. Briaud, Y. Lim, Tieback Walls In Sand: Numerical Simulation And Desing Implications, Rep., College Station, Texas, 1996.

پیوست

الف - گود ۴ متری



شکل الف ۱: مشخصات دیوار میخ کوبی شده به عمق ۴ متر

Fig. a) 1. Properties of nailing wall to depth 4 m

- همچنین نتایج دیگری نیز از این تحقیق بدست می آید:
۱. به کمک تحلیل نتایج به دست آمده مشاهده گردید که بهبود متغیرهای مقاومتی خاک باعث کاهش جابه جایی افقی و افزایش ضریب اطمینان پایداری می گردد.
 ۲. افزایش عمق گودبرداری باعث افزایش جابه جایی در سیستم دیوار میخ کوبی شده می باشد و ضریب اطمینان پایداری خاک را کاهش می دهد. تاثیر تعداد میخ ها برای کنترل جابه جایی و ضریب اطمینان پایداری بیش از تاثیر طول و قطر میخ ها می باشد.
 ۳. قرارگیری میخ های با طول بلندتر در قسمت فوقانی (بالتر از $H/66$) دیوار میخ کوبی شده باعث کاهش چشمگیر جابه جایی می شود همینطور با کاهش فواصل عمودی و افقی میخ ها از یکدیگر می توان جابه جایی دیواره میخ کوبی را کاهش داد. برای کاهش جابه جایی دیواره میخ کوبی شده، کاهش فواصل عمودی و افقی بین میخ ها بسیار موثرتر از افزایش قطر میخ ها می باشد.
 ۴. طول میخ های فوقانی (میخ های بالاتر از $H/66$) بر روی جابه جایی دیوار میخ کوبی شده تاثیر داشته و طول میخ های پایینی (میخ های پایین تر از $H/33$) بر روی ضریب اطمینان پایداری تاثیر دارد. بنابراین اگر طراحی در شرایطی نیاز به جابه جایی کمتر یا ضریب اطمینان بیشتر داشت، می توان با افزایش طول میخ های فوقانی جابه جایی را کاهش داد و با افزایش طول میخ های پایینی ضریب اطمینان پایداری را افزایش داد. لازم به ذکر است افزایش طول میخ ها بر روی کاهش جابه جایی موثرتر از افزایش قطر آن ها می باشد.
 ۶. بیشترین نیروی محوری در میخ ها، در میخ های پایینی (میخ های پایین تر از $H/33$) به وجود می آید از این رو می بایست قطر میخ های پایینی به نسبت میخ های بالایی بیشتر باشد.

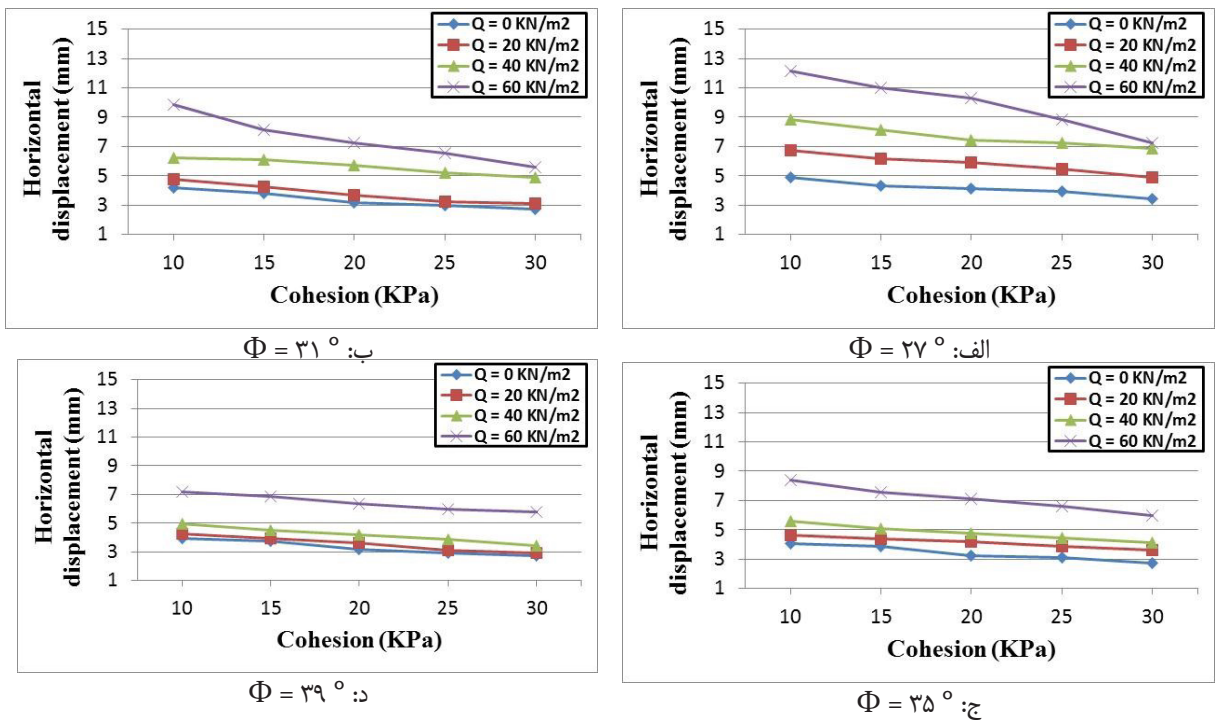
مراجع

- [1] H. Ashrafi, Basics of excavation and guard structures, editing National regulations office, Tehran, 2006.
- [2] C. lazarte, V. Elias, d. Espinoza, p. Sabatini, Soil Nail Wall, JahadDaneshgahi, Tehran, 2011.
- [3] M. Rabie, Performance of hybrid MSE/Soil Nail walls using numerical analysis and limit equilibrium approaches, HBRC, 12(1) (2014) 63-70.
- [4] S. Ghareh, Parametric assessment of soil-nailing retaining structures in cohesive and cohesionless soils, Measurement, 73 (2015) 341-351.
- [5] C. Lazarte, V. Elias, D. Espinoza, p. Sabatini, Soil Nail Wall, Federal Highway Administration, Washington D.C, USA, 2003.
- [6] M. Puller, Deep Excavations: A Practical Manual 2nd Edition, Thomas Telford Ltd United Kingdom, 2016.

جدول الف ۱: مشخصات اولیه طراحی میخ‌ها برای گود به عمق ۴ متر

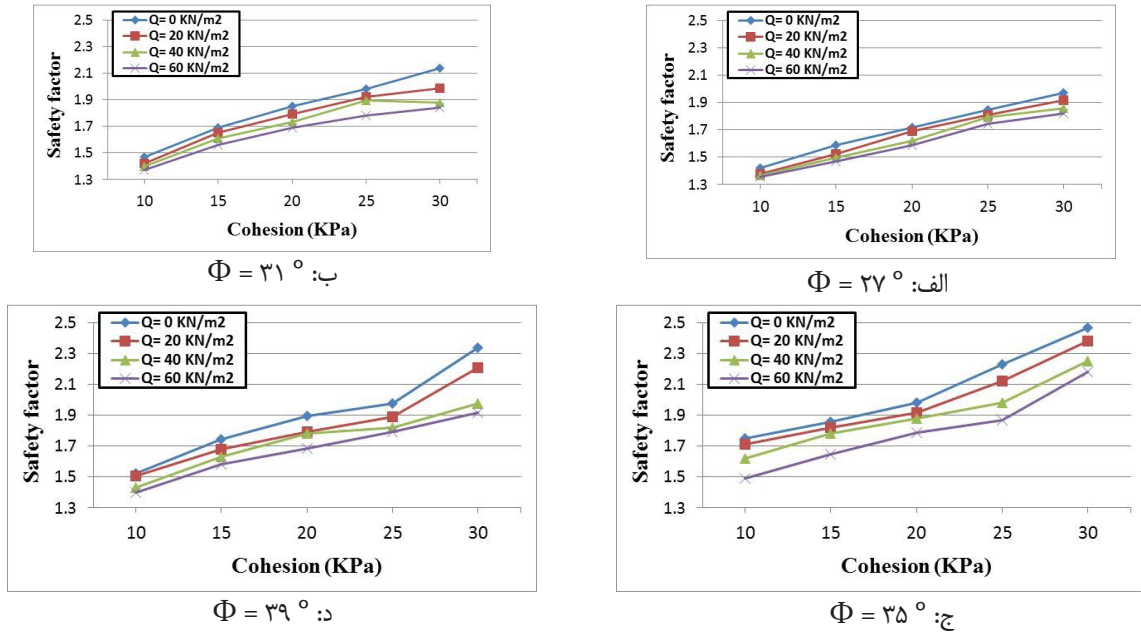
Table a) 1. initial design property of the nails for a depth of 4 meters

Φ	Q (kN/m ²)	Nail ₁				Nail ₂			
		L	d	S _v	S _h	L	d	S _v	S _h
۲۷°	۰	۳	۲۵	۲	۲	۲	۲۸	۲	۲
	۲۰	۳/۵	۲۸	۲	۲	۲/۵	۳۲	۲	۲
	۴۰	۴	۲۸	۲	۲	۳	۳۶	۲	۲
	۶۰	۴	۳۲	۲	۲	۳/۵	۳۶	۲	۲
۳۱°	۰	۳	۲۵	۲	۲	۲	۲۸	۲	۲
	۲۰	۳/۵	۲۵	۲	۲	۲	۳۲	۲	۲
	۴۰	۴	۲۸	۲	۲	۲/۵	۳۲	۲	۲
	۶۰	۴	۲۸	۲	۲	۳/۵	۳۶	۲	۲
۳۵°	۰	۲/۵	۲۰	۲	۲	۲	۲۵	۲	۲
	۲۰	۳	۲۲	۲	۲	۲	۲۸	۲	۲
	۴۰	۳/۵	۲۵	۲	۲	۲	۳۲	۲	۲
	۶۰	۴	۲۸	۲	۲	۳	۳۶	۲	۲
۳۹°	۰	۲/۵	۲۰	۲	۲	۲	۲۰	۲	۲
	۲۰	۳	۲۰	۲	۲	۲	۲۲	۲	۲
	۴۰	۳	۲۰	۲	۲	۲	۲۵	۲	۲
	۶۰	۴	۲۰	۲	۲	۲/۵	۲۸	۲	۲



شکل الف ۲: تغییرات جابه‌جایی افقی دیواره با چسبندگی خاک برای گودی به عمق ۴ متر

Fig. a) 2. Horizontally displaced wall changes with soil cohesion to a depth of 4 meters



شکل الف ۳: تغییرات ضریب اطمینان دیواره با چسبندگی خاک برای گودی به عمق ۴ متر

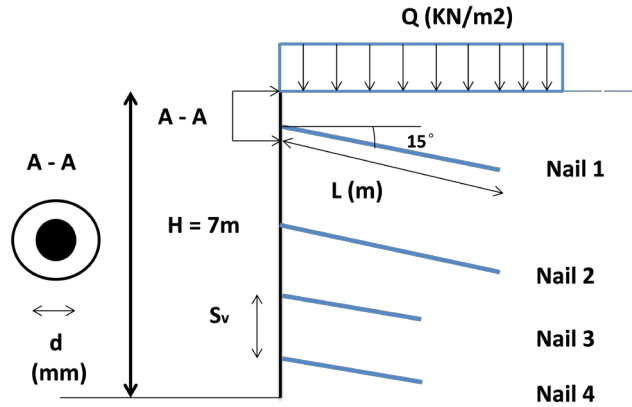
Fig. a) 3. Safety factored wall Changes with soil cohesion to a depth of 4 meters

ب - گود ۷ متری

جدول ب ۱: مشخصات اولیه طراحی میخ‌ها برای گود به عمق ۷ متر

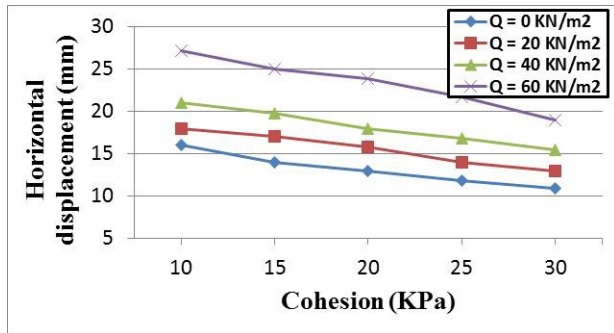
Table b) 1. initial design property of the nails for a depth of 7 meters

Φ	Q (kN/m ²)	Nail ۱				Nail ۲				Nail ۳				Nail ۴			
		L	d	S _v	S _h	L	d	S _v	S _h	L	d	S _v	S _h	L	d	S _v	S _h
۲۷°	۰	۶	۲۲	۲	۲	۶	۲۲	۲	۲	۴	۲۸	۱	۲	۴	۲۸	۱	۲
	۲۰	۶/۵	۲۵	۲	۲	۶/۵	۲۵	۲	۲	۴/۵	۳۲	۱	۲	۴/۵	۳۲	۱	۲
	۴۰	۷	۳۲	۲	۲	۷	۳۲	۲	۲	۵/۵	۳۶	۱	۲	۵/۵	۳۶	۱	۲
	۶۰	۷	۳۲	۲	۲	۷	۳۲	۲	۲	۶	۳۶	۱	۱/۵	۶	۳۶	۱	۱/۵
۳۱°	۰	۵/۵	۲۲	۲	۲	۵/۵	۲۲	۲	۲	۳/۵	۲۸	۱	۲	۳/۵	۲۸	۱	۲
	۲۰	۶	۲۵	۲	۲	۶	۲۵	۲	۲	۴	۳۲	۱	۲	۴	۳۲	۱	۲
	۴۰	۶/۵	۲۸	۲	۲	۶/۵	۲۸	۲	۲	۵	۳۶	۱	۲	۵	۳۶	۱	۲
	۶۰	۶/۵	۳۲	۲	۲	۶/۵	۳۲	۲	۲	۶	۳۶	۱	۲	۶	۳۶	۱	۲
۳۵°	۰	۵	۲۲	۲	۲	۵	۲۲	۲	۲	۳/۵	۲۸	۱	۲	۳/۵	۲۸	۱	۲
	۲۰	۵/۵	۲۵	۲	۲	۵/۵	۲۵	۲	۲	۴	۳۲	۱	۲	۴	۳۲	۱	۲
	۴۰	۶	۲۸	۲	۲	۶	۲۸	۲	۲	۴/۵	۳۲	۱	۲	۴/۵	۳۲	۱	۲
	۶۰	۶	۲۸	۲	۲	۶	۲۸	۲	۲	۵	۳۶	۱	۲	۵	۳۶	۱	۲
۳۹°	۰	۴/۵	۲۰	۲	۲	۴/۵	۲۰	۲	۲	۳/۵	۲۸	۱	۲	۳/۵	۲۸	۱	۲
	۲۰	۵	۲۲	۲	۲	۵	۲۲	۲	۲	۳/۵	۲۸	۱	۲	۳/۵	۲۸	۱	۲
	۴۰	۵/۵	۲۸	۲	۲	۵/۵	۲۸	۲	۲	۳/۵	۳۲	۱	۲	۳/۵	۳۲	۱	۲
	۶۰	۵/۵	۲۸	۲	۲	۵/۵	۲۸	۲	۲	۴/۵	۳۶	۱	۲	۴/۵	۳۶	۱	۲

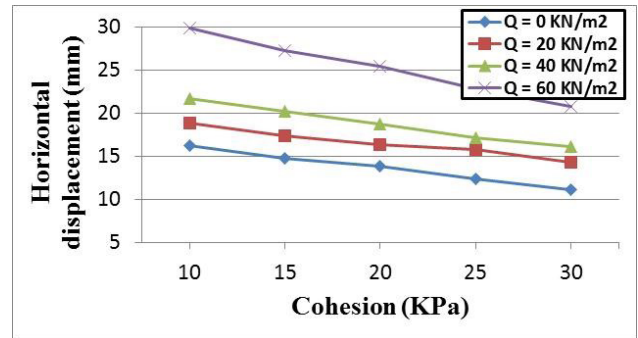


شکل ب ۱: مشخصات دیوار میخ‌کوبی شده به عمق ۷ متر

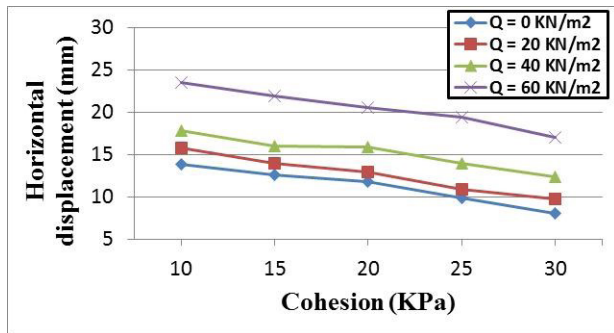
Fig. b) 1. Properties of nailing wall to depth 7 m



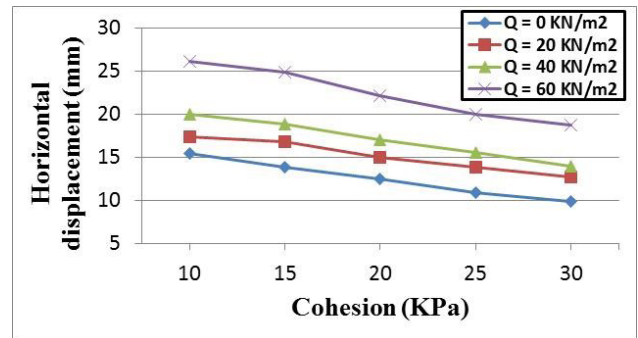
ب: $\Phi = 31^\circ$



الف: $\Phi = 27^\circ$



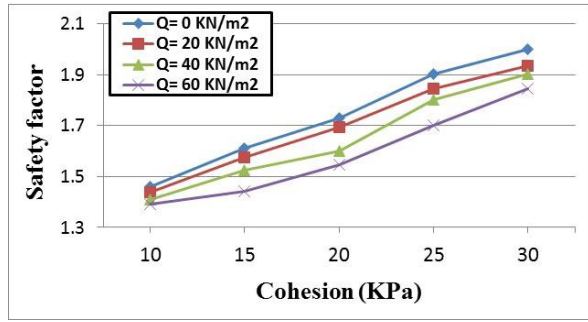
د: $\Phi = 39^\circ$



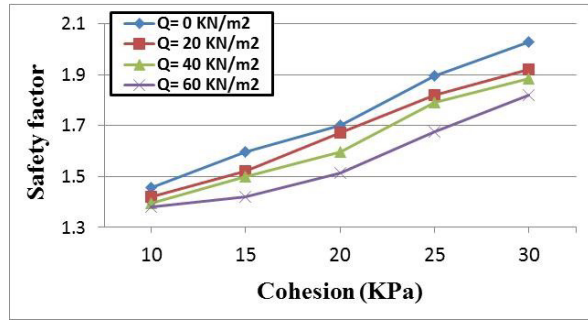
ج: $\Phi = 35^\circ$

شکل ب ۲: تغییرات جابه‌جایی افقی دیواره با چسبندگی خاک برای گودی به عمق ۷ متر

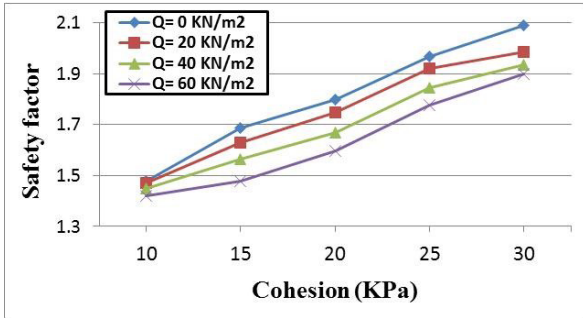
Fig. b) 2. Horizontally displaced wall changes with soil cohesion to a depth of 7 meters



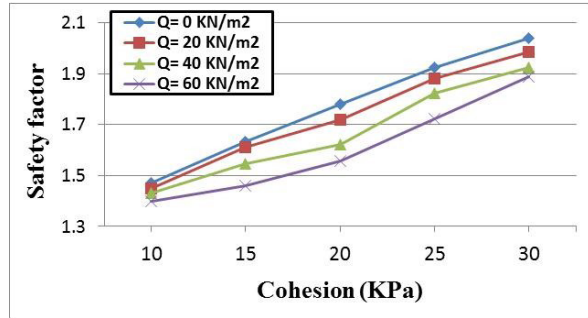
ب: $\Phi = 31^\circ$



الف: $\Phi = 27^\circ$



د: $\Phi = 39^\circ$



ج: $\Phi = 35^\circ$

شکل ب ۳: تغییرات ضریب اطمینان دیواره با چسبندگی خاک برای گودی به عمق ۷ متر

Fig. b) 3. Safety factored wall Changes with soil cohesion to a depth of 7 meters

ج - گود ۱۳ متری

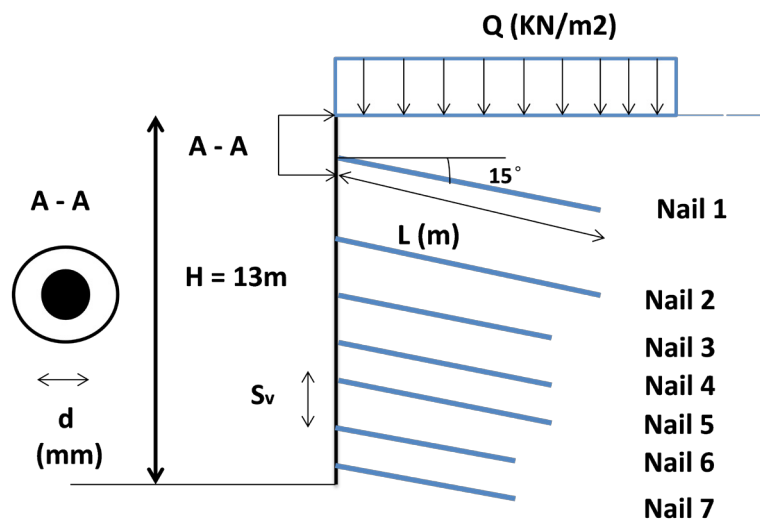
جدول ج ۱: مشخصات اولیه طراحی میخ‌ها برای گود به عمق ۱۳ متر

Table c) 1. initial design property of the nails for a depth of 13 meters

Φ	Q (KN/m ²)	Nail ۱				Nail ۲				Nail ۳				Nail ۴			
		L	d	S _v	S _h	L	d	S _v	S _h	L	d	S _v	S _h	L	d	S _v	S _h
۲۷°	۰	۱۰	۲۵	۲	۲	۱۰	۲۵	۲	۲	۸	۳۲	۲	۲	۸	۳۶	۲	۲
	۲۰	۱۱	۲۸	۲	۲	۱۱	۲۸	۲	۲	۹	۳۶	۲	۲	۹	۳۶	۲	۲
	۴۰	۱۲	۳۶	۲	۲	۱۲	۳۶	۲	۲	۱۰	۴۰	۲	۲	۱۰	۴۰	۲	۲
	۶۰	۱۳	۴۰	۲	۱	۱۳	۴۰	۲	۱	۱۳	۴۰	۲	۱	۱۲	۴۰	۲	۱
۳۱°	۰	۹	۲۵	۲	۲	۹	۲۵	۲	۲	۸	۳۲	۲	۲	۸	۳۲	۲	۲
	۲۰	۱۰	۲۸	۲	۲	۱۰	۲۸	۲	۲	۸	۳۲	۲	۲	۸	۳۲	۲	۲
	۴۰	۱۲	۳۲	۲	۲	۱۲	۳۲	۲	۲	۱۰	۳۲	۲	۲	۱۰	۳۶	۲	۲
	۶۰	۱۲	۲۸	۲	۲	۱۲	۳۲	۲	۲	۱۲	۳۶	۲	۲	۱۰	۳۶	۲	۱/۵
۳۵°	۰	۸	۲۵	۲	۲	۸	۲۵	۲	۲	۷	۳۲	۲	۲	۷	۳۲	۲	۲
	۲۰	۱۰	۲۵	۲	۲	۱۰	۲۵	۲	۲	۸	۳۲	۲	۲	۸	۳۲	۲	۲
	۴۰	۱۱	۲۸	۲	۲	۱۱	۲۸	۲	۲	۹	۳۲	۲	۲	۹	۳۲	۲	۲
	۶۰	۱۱	۳۲	۲	۲	۱۱	۳۲	۲	۲	۹	۳۲	۲	۲	۹	۳۶	۲	۲
۳۹°	۰	۸	۲۵	۲	۲	۸	۲۵	۲	۲	۷	۲۸	۲	۲	۷	۲۸	۲	۲
	۲۰	۹	۲۵	۲	۲	۹	۲۵	۲	۲	۷	۳۲	۲	۲	۷	۳۲	۲	۲
	۴۰	۱۰	۲۵	۲	۲	۱۰	۲۵	۲	۲	۸	۳۲	۲	۲	۸	۳۲	۲	۲
	۶۰	۱۱	۲۸	۲	۲	۱۱	۲۸	۲	۲	۹	۳۲	۲	۲	۹	۳۲	۲	۲

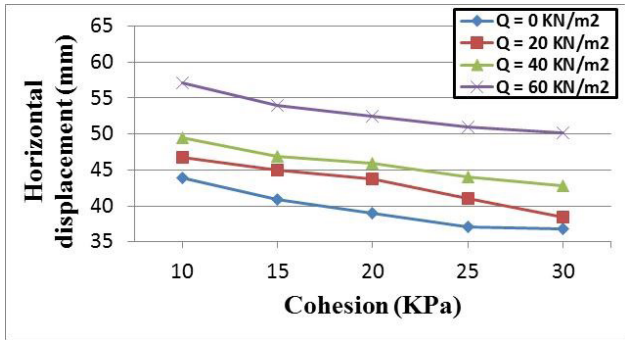
ادامه جدول ج ۱: مشخصات اولیه طراحی میخ‌ها برای گود به عمق ۱۳ متر

Φ	Q (kN/m ²)	Nail ۵				Nail ۶				Nail ۷			
		L	d	S _v	S _h	L	d	S _v	S _h	L	d	S _v	S _h
۲۷°	۰	۸	۳۶	۲	۱/۵	۶/۵	۳۶	۱	۱	۶/۵	۳۶	۱	۱
	۲۰	۹	۳۶	۲	۱/۵	۸	۳۶	۱	۱/۵	۸	۳۶	۱	۱/۵
	۴۰	۱۰	۴۰	۲	۱/۵	۸	۴۰	۱	۱/۵	۸	۴۰	۱	۱/۵
	۶۰	۱۲	۴۰	۲	۱	۹	۴۰	۱	۱	۹	۴۰	۱	۱
۳۱°	۰	۸	۳۶	۲	۲	۶/۵	۳۶	۱	۱/۵	۶/۵	۳۶	۱	۱/۵
	۲۰	۸	۳۶	۲	۱/۵	۶/۵	۳۶	۱	۱/۵	۶/۵	۳۶	۱	۱/۵
	۴۰	۱۰	۳۶	۲	۱/۵	۸	۳۶	۱	۱/۵	۸	۳۶	۱	۱/۵
	۶۰	۱۰	۳۶	۲	۱/۵	۸	۳۶	۱	۱	۸	۳۶	۱	۱
۳۵°	۰	۷	۳۲	۲	۲	۶/۵	۳۶	۱	۲	۶/۵	۳۶	۱	۲
	۲۰	۸	۳۲	۲	۲	۶/۵	۳۶	۱	۲	۶/۵	۳۶	۱	۲
	۴۰	۹	۳۶	۲	۲	۷	۳۶	۱	۱/۵	۷	۳۶	۱	۱/۵
	۶۰	۹	۳۶	۲	۱/۵	۷	۳۶	۱	۱/۵	۷	۳۶	۱	۱/۵
۳۹°	۰	۷	۳۲	۲	۲	۶/۵	۳۶	۱	۲	۶/۵	۳۶	۱	۲
	۲۰	۷	۳۶	۲	۲	۶/۵	۳۶	۱	۲	۶/۵	۳۶	۱	۲
	۴۰	۸	۳۶	۲	۲	۶/۵	۳۶	۱	۲	۶/۵	۳۶	۱	۲
	۶۰	۹	۳۶	۲	۲	۷	۳۶	۱	۲	۷	۳۶	۱	۲

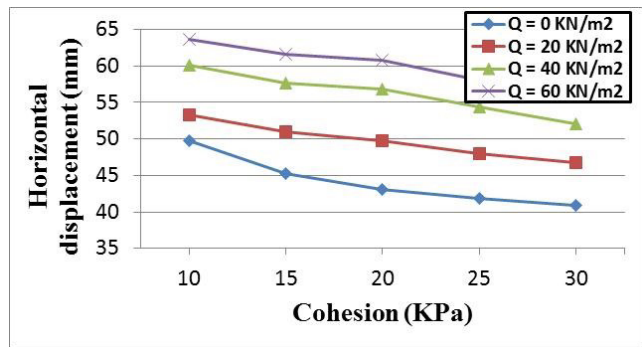


شکل ج ۱: مشخصات دیواره میخ‌کوبی شده به عمق ۱۳ متر

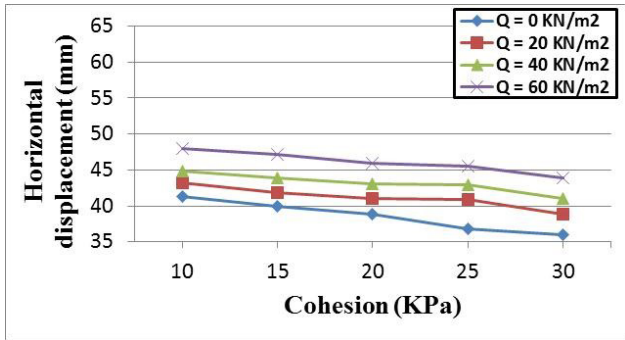
Fig. c) 1. Properties of nailing wall to depth 13 m



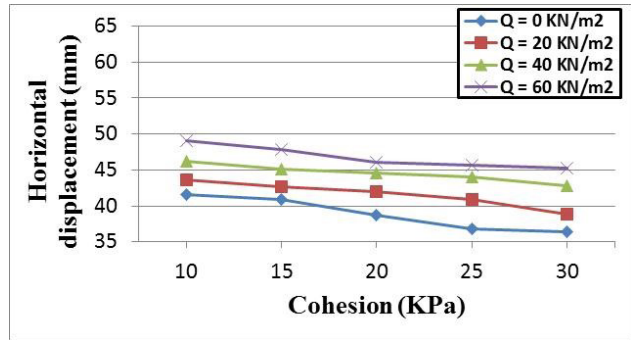
ب: $\Phi = 31^\circ$



الف: $\Phi = 27^\circ$



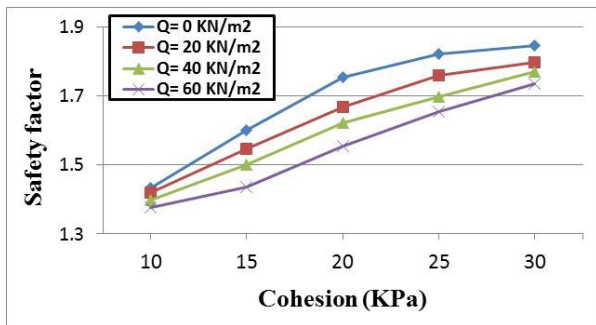
د: $\Phi = 39^\circ$



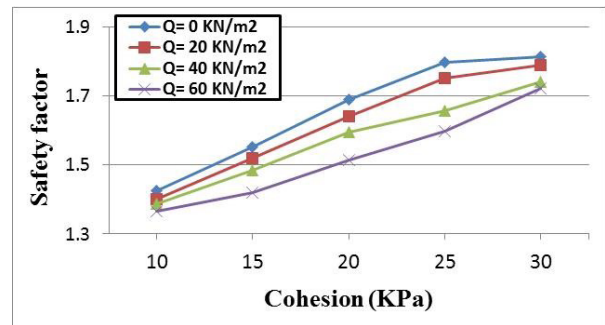
ج: $\Phi = 35^\circ$

شکل ۲: تغییرات جابه‌جایی افقی دیواره با چسبندگی خاک برای گودی به عمق ۱۳ متر

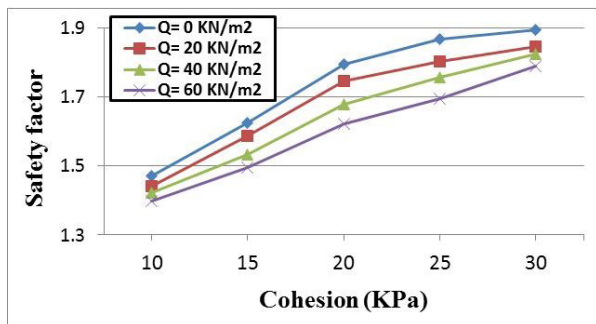
Fig. c) 2. Horizontally displaced wall changes with soil cohesion to a depth of 13 meters



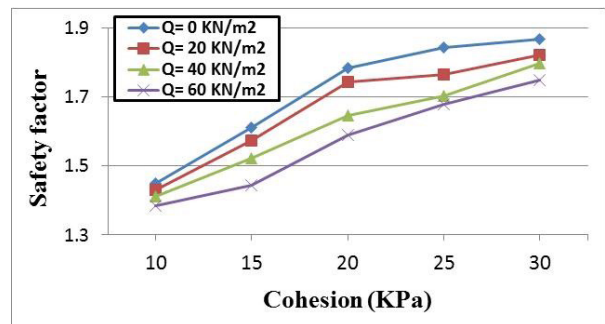
ب: $\Phi = 31^\circ$



الف: $\Phi = 27^\circ$



د: $\Phi = 39^\circ$

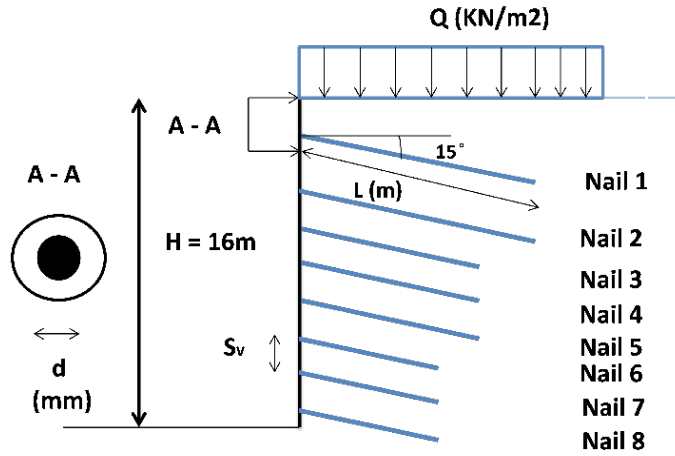


ج: $\Phi = 35^\circ$

شکل ۳: تغییرات ضریب اطمینان دیواره با چسبندگی خاک برای گودی به عمق ۱۳ متر

Fig. c) 3. Safety factored wall Changes with soil cohesion to a depth of 13 meters

د- مشخصات طراحی‌های مقدماتی برای گود ۱۶ متری



شکل د۱: مشخصات دیوار میخ‌کوبی شده به عمق ۱۶ متر

Fig. d) 1. Properties of nailing wall to depth 16 m

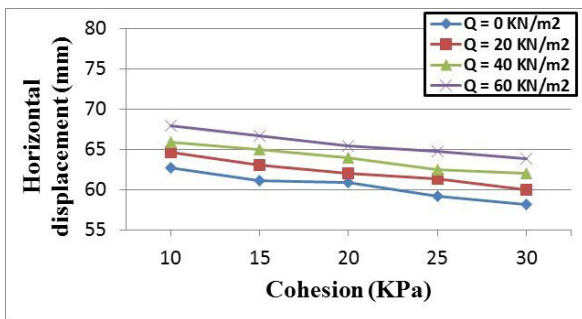
جدول د۱: مشخصات اولیه طراحی میخ‌ها برای گود به عمق ۱۶ متر

Table d) 1. initial design property of the nails for a depth of 16 meters

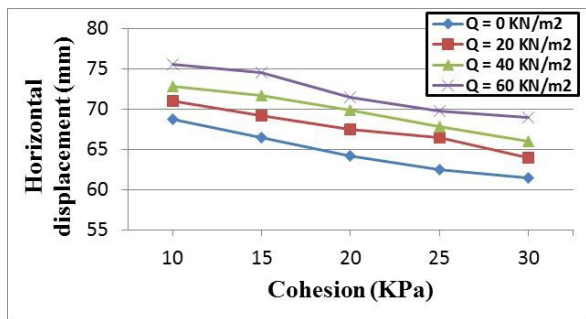
Φ	Q (kN/m ²)	Nail ۱				Nail ۲				Nail ۳				Nail ۴			
		L	d	S _v	S _h	L	d	S _v	S _h	L	d	S _v	S _h	L	d	Sv	Sh
۲۷°	۰	۱۵	۳۲	۲	۲	۱۵	۳۲	۲	۲	۱۵	۳۲	۲	۲	۱۳	۳۶	۲	۲
	۲۰	۱۶	۳۶	۲	۲	۱۶	۳۶	۲	۲	۱۶	۳۶	۲	۲	۱۴	۴۰	۲	۲
۳۱°	۰	۱۴	۲۸	۲	۲	۱۴	۲۸	۲	۲	۱۴	۲۸	۲	۲	۱۲	۳۶	۲	۲
	۲۰	۱۴	۳۲	۲	۲	۱۴	۳۲	۲	۲	۱۴	۳۲	۲	۲	۱۲	۳۶	۲	۲
	۴۰	۱۴	۳۲	۲	۲	۱۴	۳۲	۲	۲	۱۴	۳۶	۲	۲	۱۲	۴۰	۲	۲
۳۵°	۰	۱۵	۴۰	۲	۲	۱۵	۴۰	۲	۲	۱۵	۴۰	۲	۲	۱۴	۴۰	۲	۲
	۰	۱۲	۲۵	۲	۲	۱۲	۲۵	۲	۲	۱۲	۲۵	۲	۲	۱۰	۳۲	۲	۲
	۲۰	۱۳	۲۸	۲	۲	۱۳	۲۸	۲	۲	۱۳	۲۸	۲	۲	۱۰	۳۲	۲	۲
	۴۰	۱۳	۳۲	۲	۲	۱۳	۳۲	۲	۲	۱۳	۳۲	۲	۲	۱۱	۳۶	۲	۲
۳۹°	۰	۱۵	۲۸	۲	۲	۱۵	۲۸	۲	۲	۱۵	۲۸	۲	۲	۱۳	۳۶	۲	۲
	۰	۱۱	۲۵	۲	۲	۱۱	۲۵	۲	۲	۱۱	۲۵	۲	۲	۱۰	۲۸	۲	۲
	۲۰	۱۲	۲۸	۲	۲	۱۲	۲۸	۲	۲	۱۲	۲۸	۲	۲	۱۰	۲۸	۲	۲
	۴۰	۱۳	۳۲	۲	۲	۱۳	۳۲	۲	۲	۱۳	۳۲	۲	۲	۱۱	۳۲	۲	۲
۳۹°	۰	۱۳	۳۶	۲	۲	۱۳	۳۶	۲	۲	۱۳	۳۶	۲	۲	۱۱	۳۶	۲	۲

ادامه جدول ۱: مشخصات اولیه طراحی میخها برای گود به عمق ۱۶ متر

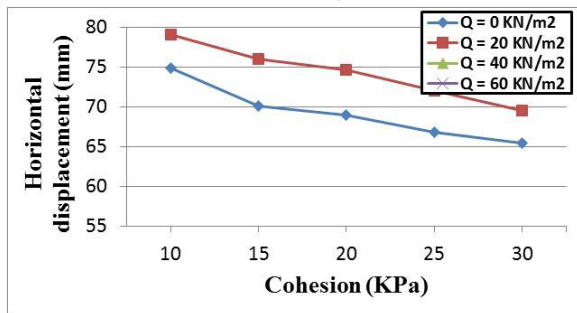
Φ	Q (KN/m ²)	Nail δ				Nail ϵ				Nail ν				Nail λ			
		L	d	S _v	S _h	L	d	S _v	S _h	L	d	S _v	S _h	L	d	S _v	S _h
۲۷°	۰	۱۳	۴۰	۲	۲	۱۳	۴۰	۲	۱/۵	۱۰	۴۰	۲	۱	۱۰	۴۰	۲	۱
	۲۰	۱۴	۴۰	۲	۱/۵	۱۴	۴۰	۲	۱/۵	۱۲	۴۰	۲	۱	۱۲	۴۰	۲	۱
۳۱°	۰	۱۲	۳۶	۲	۲	۱۲	۴۰	۲	۲	۹	۴۰	۲	۱/۵	۹	۴۰	۲	۱/۵
	۲۰	۱۲	۳۶	۲	۲	۱۲	۴۰	۲	۲	۱۰	۴۰	۲	۱	۱۰	۴۰	۲	۱
	۴۰	۱۲	۴۰	۲	۲	۱۲	۴۰	۲	۲	۱۰	۴۰	۲	۱	۱۰	۴۰	۲	۱
	۶۰	۱۴	۴۰	۲	۱/۵	۱۲	۴۰	۲	۱/۵	۱۲	۴۰	۲	۱	۱۲	۴۰	۲	۱
۳۵°	۰	۱۰	۳۶	۲	۲	۱۰	۴۰	۲	۲	۸	۴۰	۲	۱/۵	۸	۴۰	۲	۱/۵
	۲۰	۱۰	۳۶	۲	۲	۱۰	۴۰	۲	۲	۸	۴۰	۲	۱/۵	۸	۴۰	۲	۱/۵
	۴۰	۱۱	۳۶	۲	۲	۱۱	۴۰	۲	۲	۹	۴۰	۲	۱	۹	۴۰	۲	۱
	۶۰	۱۳	۴۰	۲	۱/۵	۱۱	۴۰	۲	۱/۵	۱۱	۴۰	۲	۱	۱۱	۴۰	۲	۱
۳۹°	۰	۱۰	۳۲	۲	۲	۱۰	۳۶	۲	۲	۸	۴۰	۲	۲	۸	۴۰	۲	۲
	۲۰	۱۰	۳۲	۲	۲	۱۰	۳۶	۲	۲	۸	۴۰	۲	۱/۵	۸	۴۰	۲	۱/۵
	۴۰	۱۱	۳۶	۲	۲	۱۱	۳۶	۲	۲	۸	۴۰	۲	۱/۵	۸	۴۰	۲	۱/۵
	۶۰	۱۱	۳۶	۲	۲	۱۱	۴۰	۲	۲	۹	۴۰	۲	۱/۵	۹	۴۰	۲	۱/۵



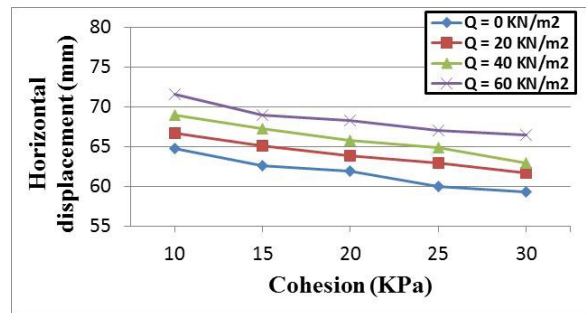
ب: $\Phi = 31^\circ$



الف: $\Phi = 27^\circ$



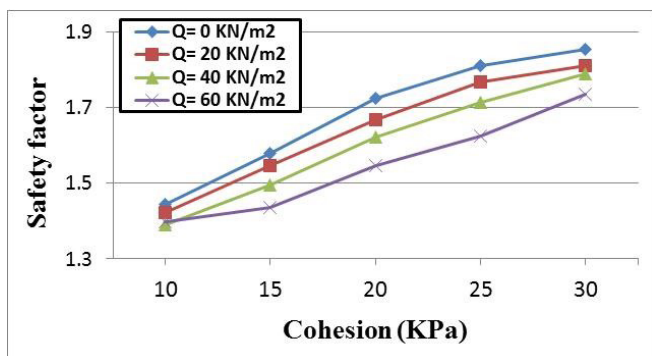
د: $\Phi = 39^\circ$



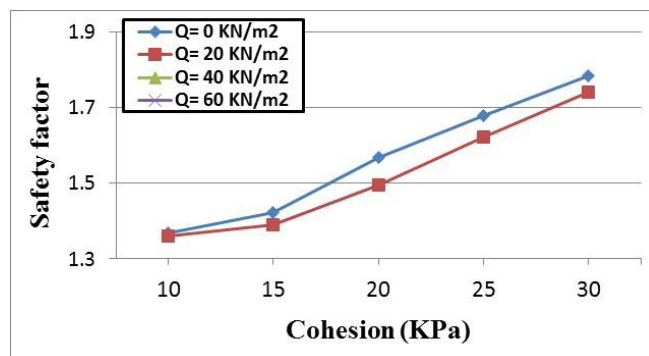
ج: $\Phi = 35^\circ$

شکل ۲: تغییرات جابه‌جایی افقی دیواره با چسبندگی خاک برای گودی به عمق ۱۶ متر

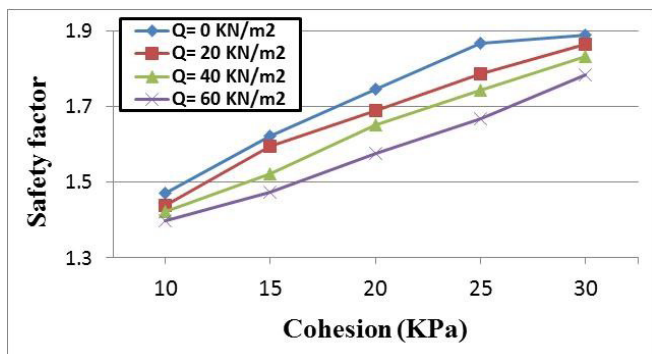
Fig. d) 2. Horizontally displaced wall changes with soil cohesion to a depth of 16 meters



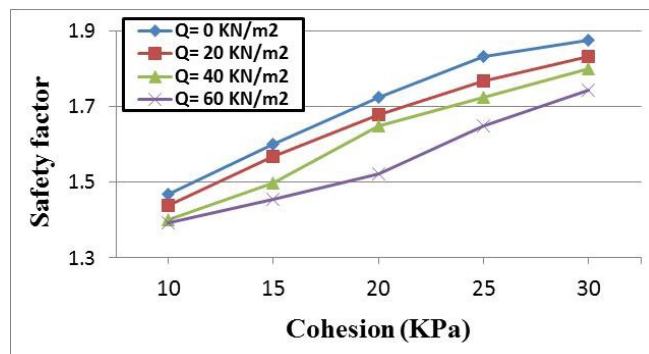
ب: $\Phi = 31^\circ$



الف: $\Phi = 27^\circ$



د: $\Phi = 39^\circ$



ج: $\Phi = 35^\circ$

شکل د۳: تغییرات ضریب اطمینان دیواره با چسبندگی خاک برای گودی به عمق ۱۶ متر

Fig. d) 3. Safety factored wall Changes with soil cohesion to a depth of 16 meters

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

S.H. Lajevardi, Sh. Azadimanesh, A. Moezi, Numerical Study of Deep Excavations Stability with Nailing Method: Representation of Help Design Tables and Diagrams, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(1) (2018) 161-178.

DOI: 10.22060/ceej.2017.11778.5076



