Archive of SID

5th International Conference on
Modern Research in
CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURAL & URBAN DEVELOPMENT
15 December 2016 Singapore

پنجمین کنفرانس بین المللی
پـــژوهـــش‌های نویـــن در
عمران، معماری و شهرسازی
۲۵ آذر مـــاه ۱۳۹۵ سنگاپور

بررسی تاثیر فاصله سربار نسبت به لبه گود بر ایجاد میل به گسیختگی در خاک پشت دیواره گودبرداری به روش عددی

حمید تین نژاد
hamid.teennejad@gmail.com

چکیده

در بسیاری از موارد مشاهده میشود با وجود طراحی و اجرای مناسب دیواره گود میخ گذاری شده، نشست سازه مجاور گود بعد از مدتی(روز و یا ماه) از زمان اجرای دیواره میخ گذاری، بطور قابل مشاهده ای ایجاد میشود و خسارات مالی و حتی جانی زیادی را بوجود می آورد. در اکثر موارد، بدلیل مشخص بودن فاصله ساختمان های مجاور نسبت به لبه گود در اکثر پروژه ها، منحنی های "تغییرات فاصله سربار نسبت به لبه گود- حداکثر نشست" در خاک مجاور گود ترسیم نمیشود. منحنی مذکور، اطلاعات بسیار ارزشمندی را در ارتباط با آنکه، آیا خاک تحت اثر محدوده مشخصی از فاصله سربار نسبت به لبه گود، میل به گسیخته شدن دارد یا خیر، به مهندس ژئوتکنیک ارائه میدهد. بنابر این، مهندس ژئوتکنیک میتواند با اتخاذ تدابیری(بعنوان مثال، افزایش طول میخ ها و ...) از اتفاقات پیش رو جلوگیری کند. جهت انجام تحلیل و مدلسازی سازه مجاور گود، به ترتیب از نرم افزار Plaxis 2D V8.5 و پی نواری به عرض ۱۰ متر استفاده شده است. نتایج نشان میدهد: قرار گرفتن سربار در محدوده فاصله بحرانی(d_c)، منجر به ایجاد تنشی به نام تنش تحرکی(σ_m) در خاک میشود که منجر به افزایش شیب منحنی به میزان تقریباً ۶/۸۵ برابر میشود که نشانه میل به گسیختگی در توده خاک است.

واژگان کلیدی: فاصله سربار، میخ گذاری، گودبرداری، تنش تحرّکی

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

در محیط های شهری، دراکثر موارد، گودبرداری ها در مجاورت ساختمان ها(که اقلب ساختمان های ۵ طبقه میباشند) قرار گرفته است و محل قرارگیری ساختمان ها نسبت به لبه گود در افزایش یا کاهش میزان نشست خاک مجاور گود، موثر است. در اکثر موارد طراحی، بدلیل شرایط مشخص هر پروژه مانند فاصله سربار نسبت به لبه گود و ...، مدلسازی عددی صرفاً تحت شرایط ثابت همان پروژه انجام میشود و محدوده ای از فاصله های سربار نسبت به لبه گود را که ممکن است منجر به افزایش ناگهانی شیب منحنی " تغییرات فاصله سربار نسبت به لبه گود- حداکثر نشست" بشود را درنظر نمی گیرند. بنابر این، یک نقطه از منحنی مذکور، هیچگاه اطلاعات کاملی را در اختیار مهندس ژئوتکنیک قرار نمی دهد، زیراکه، همان یک نقطه از تحلیل حاصل، میتواند در محدوده ای از منحنی مذکور قرار گرفته باشد که نشان دهنده افزایش احتمال میل به گسیخته شدن در خاک میباشد. در ذیل، تعدادی از تحقیقات محققین پیشین در زمینه دیواره میخ گذاری شده ارئه شده است:

Tei(1993)، در بررسی خود بر روی خصوصیات دیواره های میخ گذاری شده با روش آزمایشگاهی بر روی خاک‌های ماسه‌ای دریافت که افزایش طول میخ‌ها و زاویه اصطکاک بین خاک و میخ که با زبری میخ‌ها رابطه‌ای مستقیم دارد، باعث کاهش تغییر مکان افقی دیواره گود می‌شود. همچنین در این تحقیق بیان شده است که افزایش قطر میخ‌ها باعث کاهش زاویه اصطکاک و چسبندگی بین میخ‌ها و خاک می‌شود و افزایش زبری میخ‌ها می‌تواند بین ۲ تا ۴ برابر، زاویه اصطکاک و چسبندگی بین میخ و خاک را افزایش دهد. Mittal and Biswas, 2006، در بررسی خود بر روی دیواره‌های میخ گذاری شده در حفاری‌ها نشان داد در خاک فاقد چسبندگی، افزایش زاویه اصطکاک خاک و نسبت طول میخ‌ها به عمق گودبرداری باعث افزایش ضریب اطمینان پایداری گودبرداری می‌شود. Wei and Cheng, 2010، در بررسی عددی خود بر روی شیب‌های مسلح شده با روش میخ گذاری بیان نمودند که بیشترین ضریب اطمینان و بهینه‌ترین حالت هنگامی است که میخ‌های با طول بیشتر در پایین شیب و میخ‌های با طول کمتر در بالای شیب اجرا شوند. Zahmatkesh and et.al, 2015، برروی شرایط مختلف خاکبرداری که منجر به نشست سطح زمین مجاور دیواره گود و تغییرشکل دیواره گود میشود، تحقیق کرد. نتایج تحقیق نشان داد: امتداد ناحیه نشست سطح زمین در پشت دیواره گود، تقریباً ۲/۵ تا ۳ برابر ارتفاع گودبرداری میباشد و حداکثر نشست سطح زمین، برابر با حداکثر تغییرمکان جانبی دیواره گود میباشد. Chowdhury, 2012، برروی تاثیر فاصله سربار نسبت به لبه گود مهار شده با عرض های متفاوت گود، تحقیق نمود و نتایج نشان داد که:حداکثر تغییرمکان جانبی دیواره گود در شرایط عرض گودبرداری ۶ متر تا ۱۸ متر ایجاد شده است. همچنین نشان داد که درمیان چهار پارامتر مورد ارزیابی: حداکثر نیروی تسمه ها، حداکثر گشتاور خمشی دیوار، حداکثر تغییرشکل دیوار و حداکثر نشست زمین مجاور گود، بیشترین تاثیر عرض گود، بر میزان حداکثر نشست زمین مجاور گود میباشد.

www.SID.ir

Archive of SID

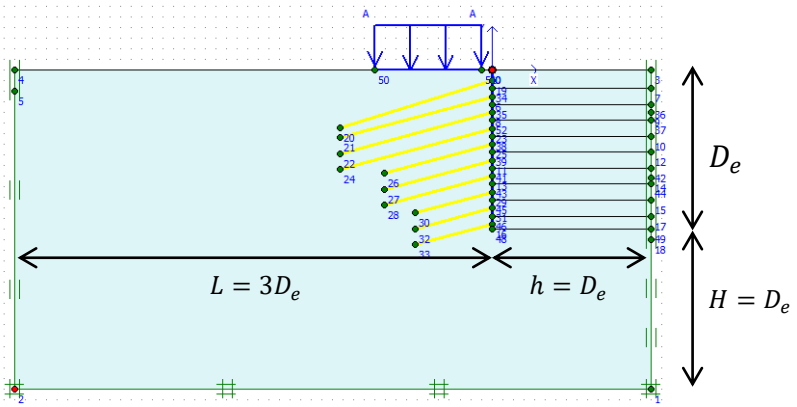
روش تحقیق

در تحقیق حاضر مدلسازی به صورت دو بعدی و با نرم افزار Plaxis 2D میباشد. سیستم حفاظت گود به روش میخ گذاری است و پارامترهای ثابت شامل: عمق گودبرداری به ارتفاع ۱۵ متر، مشخصات مکانیکی خاک(جدول۱) و سربار به میزان ۵۰ کیلوپاسکال با عرض بارگذاری ۱۰ متر میباشد. پارامتهای متغیر شامل: فاصله سربار اعمالی بر سطح زمین(σ_a) با چهار مقدار ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵ متر و تراز ایستابی آب زیرزمینی نسبت به سطح زمین(d_w) در سه مقدار ۲، ۴ و ۸ متر میباشند.

جدول۱- مشخصات مکانیکی خاک در تحقیق حاضر

Name	Type	γ_{wet} $[KN/m^3]$	γ_{sat} $[KN/m^3]$	K_x [m/day]	K_y [m/day]	n [-]	E_{ref} $[KN/m^2]$	c_{ref} $[KN/m^2]$	φ [°]	Ψ [°]	R_{int} [-]
Sand	Drained	۱۷	۱۸	۱	۱	۰/۳۳	۶۰۰۰۰	۱۰	۳۶	۳	۰/۶۷

مطابق با شکل ۱، همانطور که ذکر شد، عمق گودبرداری ۱۵ متر میباشد که در ۱۰ مرحله به عمق ۱/۵ متر، گودبرداری در نرم افزار به روش ساخت مرحله ای[۱] انجام میشود، قطر میخ ها ۳۲ میلیمتر و طول میخ ها از تراز ۰ تا تراز ۶/۷۵، ۶/۷۵ تا ۱۰/۵و ۱۰/۵ تا ۱۵ متر به ترتیب ۱۵ متر، ۱۰/۷۵ متر و ۷/۵ متر میباشند(تراز صفر، پشت لبه گودبرداری میباشد)، فاصله افقی و قائم میخ ها به ترتیب ۱ و ۱/۵ متر میباشد. فاصله قائم نسبت به سطح زمین و زاویه اولین میخ، بدلیل عدم برخورد با تاسیسات و پی مجاور گود به ترتیب ۱ متر و ۲۰ درجه میباشد و سایر میخ ها دارای زاویه ۱۵ درجه نسبت به افق قرار دارند. همچنین در شکل(۱)، مرزهای مدل مشخص شده اند.



شکل۱- مدل نرم افزاری و محدوده مرزهای مدل

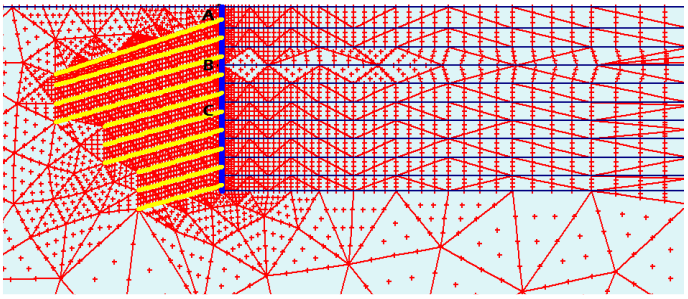
قابل ذکر است، مطابق شکل(۲) به منظور بررسی اثر فاصله سربار نسبت به لبه گود بر نشست خاک پشت صفحه بتن پاشیده[۲] دیواره گود میخ گذاری شده، جهت مقایسه و ترسیم نمودارها، نقاط ارزیابی ای در اعماق ۰متر(نقطهA)، ۵ متر(نقطهB) و ۷/۵ متر(نقطهC)، دقیقاً در پشت صفحه بتن پاشیده درنظر گرفته شده است. نتایج نشست در نقطه A، حاصل اثر صرفاً سربار اعمالی بر سطح خاک[۳](σ_a) و تغییرشکل های ناشی از مدل هندسی میباشد. این درحالی است که میزان نشست

[۱] Staged construction
[2] Shotcrete
[۳] Applied stress

www.SID.ir

Archive of SID

در نقطه B و C، ناشی از تنش ترکیبی[۱](σ_1) که شامل ترکیب اثر تنش ناشی از سربار اعمالی بر سطح خاک(σ_a) و سربار اعمالی ناشی از ستون خاک بالای نقطه مورد ارزیابی(σ_{vs}) که درشرایط خشک یا اشباع قرار دارند، میباشد. همچنین توجه شود، تمامی تنش ها اعم از σ_1، σ_a و σ_{vs}، تنش های موثر در نقطه مورد ارزیابی میباشند، زیراکه تنش های موثر هستند که موجب ایجاد تغییرشکل ها در خاک میشوند.



شکل۲- نقاط ارزیابی A ، B و C جهت مقایسه نتایج تحلیل

یافته ها

مطابق با شکل a-۳ ، که اثر سربار مستقیماً برروی این نقطه قرار دارد، بدلیل آنکه شیب منحنی در فاصله سربار ۰ تا ۵ متر(قسمت۱) نسبت به فاصله سربار نسبت به لبه گود ۵ تا ۱۵ متر(قسمت۲) به میزان ۱/۳ برابر افزایش یافته است، فاصله بحرانی[۲](d_c) نامیده میشود. دلیل آنکه چرا به این فاصله، فاصله بحرانی گفته میشود، در توضیحات مربوط به شکلb-۳ و c-۳ در نقطه B و C ارائه شده است. در شکل ۳ و در نقطه B وC، در فاصله بحرانی(قسمت۱)، شیب کاهشی منحنی ها نسبت به شیب کاهشی منحنی های قسمت ۲، در نقطه ارزیابی B و C، به ترتیب به میزان ۳ و ۱۴ برابر افزایش یافته است و احتمال میل به گسیختگی در خاک در قسمت ۱ بیشتر از سایر حالات فاصله سربار نسبت به لبه گود میباشد. زیرا، دراین فاصله تاثیر تنش ترکیبی(σ_1) (به دلیل تاثیرگذاری بیشتر سربارσ_a در قسمت ۱)، بیشتر از سایر حالات فاصله سربار نسبت به لبه گود، طبق اصل بوسینسک(Boussinesq, 1883) و لابا و کندی (Labba and Kennedy, 1988)، میباشد. به ازاء عمق های آب زیرزمینی متفاوت(d_w) و فاصله های بحرانی متفاوت(d_c)، تنش های ترکیبی(σ_1) متفاوتی بدست می آید که کمترین میزان تنش ترکیبی در قسمت ۱ را که مربوط به d_h=۵m است، تنش تحرکی کمینه[۳]$(\sigma_{m_{min}})$ مینامند، زیرا که کمترین میزان تنش ترکیبی ای است که منجر افزایش ناگهانی شیب منحنی میشود. بنابر این، فاصله سربار از لبه گود در قسمت ۱ را فاصله بحرانی(d_c) مینامند. در جدول۲ و۳، به ترتیب در نقاط B و C، تنش ترکیبی ای که شروع تنش تحرکی کمینه$(\sigma_{m_{min}})$ و افزایش شیب منحنی و ایجاد میل به گسیخته شدن در خاک میباشد، در عمق های آب ۲، ۴ و ۸ متر(در فاصله سربار از لبه گود ۵ متر) ارائه شده است و نشان میدهد که تنش تحرکی تابعی از عمق آب زیرزمینی و فاصله بحرانی میباشد.

[۱] Combine stress
[۲] Critical distance
[۳] Minimum mobility stress

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۲- تنش های تحرکی کمینه با مقادیر مختلف عمق آب زیرزمینی و فاصله سربار از لبه گود ۵ متر در نقطه B

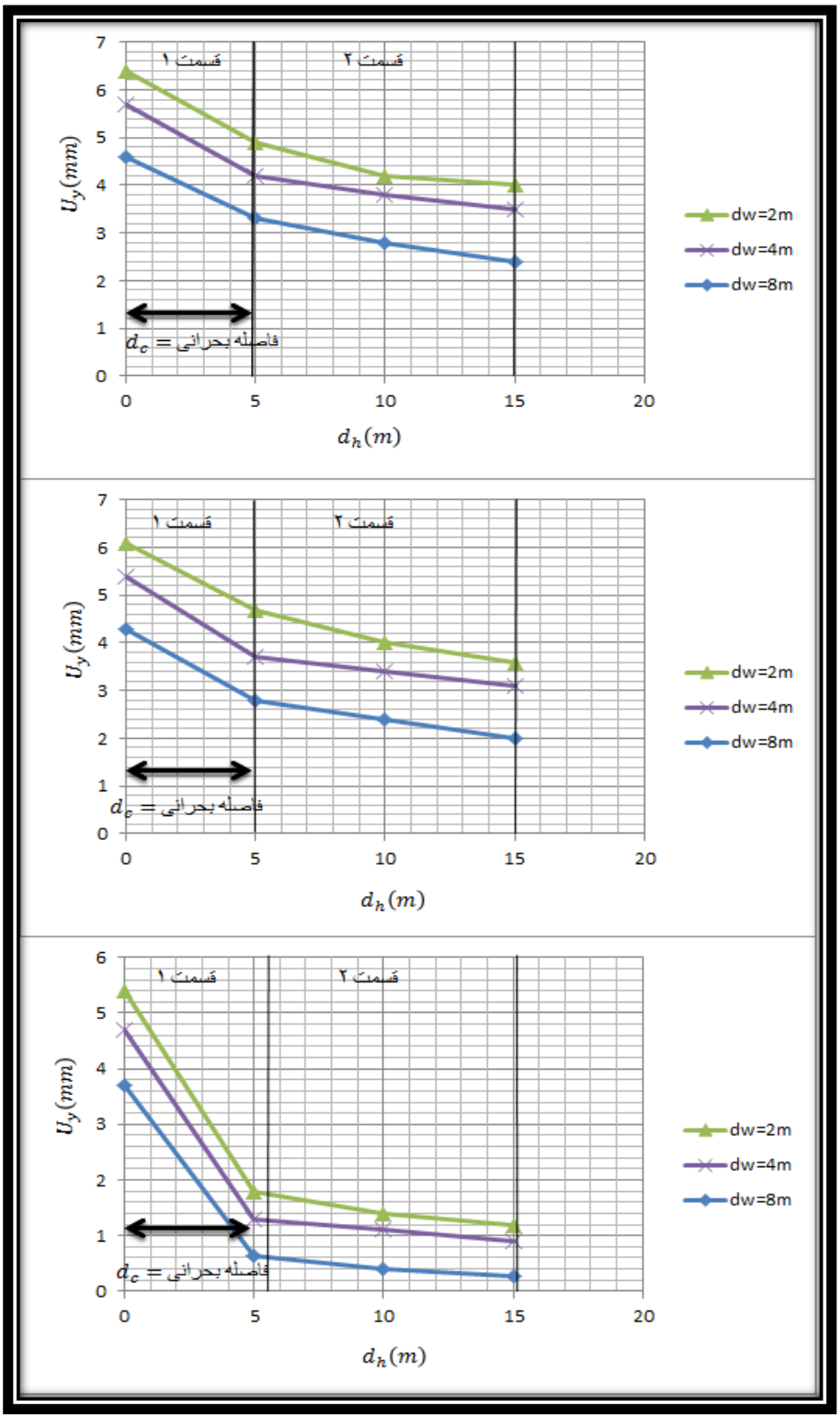
ردیف	$d_w(m)$	$d_h(m)$	$\sigma_{m_{min}}(kpa)$
۱	۲	۵	۶۸/۴۱
۲	۴	۵	۸۶/۴۱
۳	۸	۵	۹۵/۴۱

جدول۳- تنش های تحرکی کمینه با مقادیر مختلف عمق آب زیرزمینی و فاصله سربار از لبه گود ۵ متر در نقطه C

ردیف	$d_w(m)$	$d_h(m)$	$\sigma_{m_{min}}(kpa)$
۱	۲	۵	۸۸/۰۲
۲	۴	۵	۱۰۶/۰۲
۳	۸	۵	۱۳۷/۰۲

بطور مثال، همانطور که از جدول ۲ برداشت میشود، کاهش تراز سطح آب زیرزمینی از ۲ متر به ۴ و ۸ متر، منجر به افزایش تنش تحرکی کمینه به میزان به ترتیب ۲۶/۳۱ درصد و ۳۹/۴۷ درصد میشود که نشان دهنده افزایش مقاومت خاک در شرایط آب با تراز ایستابی کمتر میباشد و همچنین، خاک تحت اثر تنش تحرکی کمینه بیشتری، میل به گسیخته شدن پیدا میکند. به بیان دیگر، فاصله بحرانی، به فاصله ای از سربار نسبت به لبه گود اطلاق میشود که منجر به ایجاد تنشی برابر یا بیشتر از تنش تحرکی کمینه$\left(\sigma_{m_{min}}\right)$ در نقطه ای مشخص(مانند A، B و C) از خاک شده باشد.

www.SID.ir



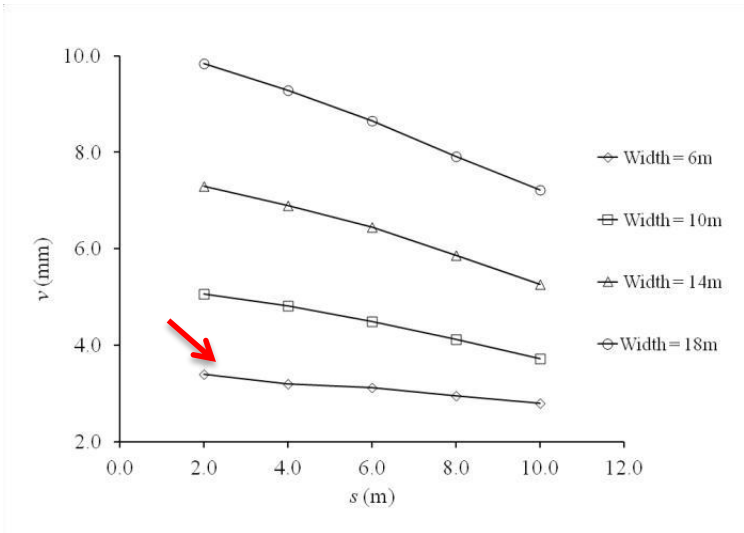
شکل۳- تحلیل نتایج در (a) نقطه ارزیابی A (b) نقطه ارزیابیB (c) نقطه ارزیابی C

Archive of SID
www.SID.ir

Archive of SID

بحث و نتیجه‌گیری

با مقایسه نتایج نمودار شکل a-۳، با نتایج پژوهش Chowdhury,(2012)، که در نمودار شکل ۴ ارائه شده است، مشاهده میشود که شیب کاهشی منحنی شکل ۴ با عرض گود ۱۸ متر، نسبت به شیب منحنی قسمت۲ در شکل a-۳ و در شرایط عمق آب ۸ متر، تقریباً به میزان ۱۲ درصد بیشتر میباشد و نتایج تحقیق تقریباً با یکدیگر مشابه هستند. بنابراین در تحقیق Chowdhury,(2012)، تنش ناشی در خاک مورد بررسی کمتر از تنش تحرکی کمینه میباشد، بنابراین، نشانه ای از فاصله بحرانی و میل به گسیختگی در این نوع خاک و در فاصله سربار ۲ تا ۱۰ متر مشاهده نمیشود.



شکل ۴- تغییرات فاصله سربار نسبت به لبه گود (s)- حداکثر نشست (v) سطح زمین، با عرض گود $(width)$ متفاوت، Chowdhury, 2012

عدم بررسی نمودار تغییرات فاصله سربار نسبت به لبه گود- حداکثر نشست $(U_y - d_h)$، در اکثر موارد طراحی، امری رایج است و عدم توجه به آن و همچنین عدم اخطار نرم افزار در ارتباط با میل به گسیختگی در خاک، میتواند خسارات جبران ناپذیری ایجاد نماید. بر مبنای مدلهای ایجاد شده و نتایج حاصل از آن، نتیجه گیری زیر حاصل گردید:

۱- ترسیم نمودار $U_y - d_h$، اطلاعات ارزشمندی از احتمال میل به گسیختگی در خاک را نشان میدهد.
۲- تنش تحرکی تابعی از فاصله سربار نسبت به لبه گود، عمق آب زیرزمینی و مشخصات مکانیکی خاک میباشد.
۳- افزایش تنش ترکیبی بیشتر از تنش تحرکی کمینه، احتمال میل به گسیختگی در خاک را افزایش میدهد.
۴- فاصله بحرانی وابسته به شرایط هر پروژه متفاوت است و میباست از تحلیل های عددی محاسبه شود.
۵- قرار گرفتن سربار اعمالی (σ_a)، در محدوده فاصله بحرانی، منجر به افزایش تنش ترکیبی به میزان تنش تحرکی در خاک شده و شیب منحنی $U_y - d_h$ را به بطور ناگهانی به میزان بیش از ۳ برابر افزایش میدهد.
۶- کاهش تراز سطح آب از ۲ متر به ۴ متر، منجر به کاهش۲۶/۳۱ درصدی تنش تحرکی کمینه در خاک میشود که نشان دهنده اثر منفی وجود آب زیرزمینی با سطح ایستابی بالا میباشد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

Tei, K. (1993), "A study of soil nailing in sand", Magdalen College, University of Oxford.

Mittal, S. and Biswas, A.K. (2006), "River bank erosion control by soil nailing", Journal of geotechnic and geological engineering, Vol. 24, pp. 1821-1833.

Wei, W.B. and Cheng, Y.M. (2010), "Soil nailed slope by strength reduction and limit equilibrium method", Journal of Computers and Geotechnics, Vol. 37, pp. 602-618.

Zahmatkesh, A. and Choobbasti, A.J. Arab, J. (2015), "Evaluation of wall deflections and ground surface settlements in deep excavations", Arabian Journal of Geosciences, Vol.8, No.5, pp.3055-3063.

Chowdhury, S.S. (2012). " Effect of location of surcharge on braced excavation under different excavation width", Proceedings of Indian Geotechnical Conference, December 13-15, Delhi (Paper No. D 404)

Boussinesq, J. (1883), "Application des potentials a L'Etude de L'Equilibre et du Mouvement des Solides Elastiquese", Gautheier-Villars, Paris

Laba, J.T. and Knnedy, J.B. (1986), "reinforced earth retaining wall analysis and design", Canadian Geotechnical Journal, Vol. 23, No. 3, PP. 317-326.

www.SID.ir