



بررسی رفتار گودبرداری‌های عمیق مهارشده به روش شمع‌های ردیفی مهارشده و دیواره‌های انعطاف‌پذیر (دیوار برلینی)

رضا ابیض اسکویی، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.
احسان نگهبان ژاله، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.
فریبا بهروز سرند (نویسنده مسئول)، گروه مهندسی عمران، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران.
fsarand@gmail.com

چکیده

استفاده از شمع‌های ردیفی مهارشده همراه با دیواره‌های انعطاف‌پذیر (برلینی) یکی از روش‌ها و فن‌آوری‌های مدرن در زمینه پایدارسازی گودبرداری‌هاست. هدف از تحقیق اخیر تحلیل رفتار گودبرداری عمیق مهارشده با دیواره‌های انعطاف‌پذیر به کمک مدل‌سازی عددی با استفاده از نرم‌افزار PLAXIS 3D می‌باشد. بدین منظور در مدل‌سازی‌های انجام‌شده اثر سربار در اطراف محل گودبرداری شده، تغییر مشخصات مکانیکی خاک محل و طول مهارها در میزان تغییرشکل‌ها و نیروها مورد مطالعه قرار گرفته است. جنس خاک بستر در این مطالعه رس بوده و عمق گودبرداری ۲۰ متر در نظر گرفته شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که سربار مجاور گود، مشخصات مکانیکی خاک و طول مهارها از جمله پارامترهای مؤثر در مقادیر تغییرشکل‌ها و توزیع نیروهای داخلی می‌باشد. با افزایش چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک، تغییرشکل‌ها کاهش می‌یابد ولی افزایش طول مهارها در مقایسه با سایر عوامل تأثیر کمتری داشته است.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی عددی، گود، سربار، طول مهار، تغییر شکل.



Behavior of Deep Excavations by Anchored Soldier Piles and Lagging Walls (Berlin Wall)

Reza Abyaz Osqui, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

Ehsan Negahban jaleh, Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz,

Iran

Fariba Behrouz Sarand (Corresponding author), Department of Civil Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran

fsarand@gmail.com

Abstract

Anchored soldier piles and lagging walls (Berlin Wall) is one of the modern methods to excavation stabilization in recent years. The aim of this paper is the study of behavior of deep excavation by anchored soldier piles using numerical modeling in PLAXIS 3D software. For this purpose the effect of surcharge loading, mechanical properties of soils and length of anchors on deformations and distribution of tensions are studied. In this study, the soil type and the depth of excavation is selected clay and 15 meters, respectively. The obtained results show that the surcharge load, mechanical properties and anchor length have a significant effect on the behavior of the excavations. With increasing of cohesion and friction angle of soils, magnitude of deformations and stresses decrease. But increasing of the anchors length has not impressive effect on deformations and stresses.

Keywords: Numerical modeling, Excavation, Surcharge loading, Anchor length, Deformation.



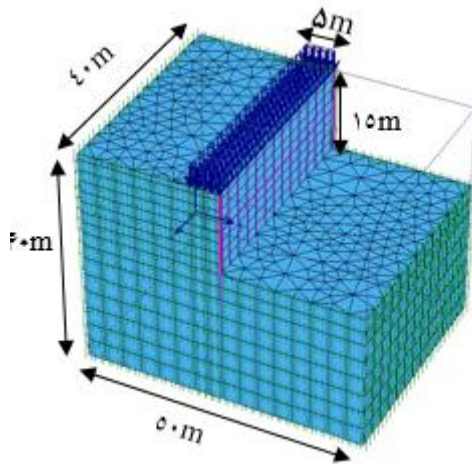
۱- مقدمه

در متون فنی به‌طور معمول به گودبرداری‌های با عمق بیشتر از ۴/۵ متر گودبرداری عمیق گفته می‌شود. گودبرداری‌های عمیق در سازه‌های درهم‌فشرده شهری نیازمند پیش‌بینی و طراحی دقیق می‌باشد. انتخاب و طراحی نامناسب سیستم پایدارسازی می‌تواند هزینه زیادی بر پروژه تحمیل کند. گودبرداری‌های عمیق شامل دو سیستم اصلی هستند^(۱) سیستم نگه‌دارنده در مقابل حرکت زمین ورود و نفوذ آب به داخل گود^(۲) سیستم مهاربند، که شامل پایدار کردن گود در مقابل نیروی خاک، آب و بارهای زنده می‌باشد که از آن‌ها در مقابل فروپاشی محافظت می‌کند. انواع مختلفی از روش‌های پایدارسازی گود وجود دارد که انتخاب سیستم مناسب بستگی به عوامل مختلفی از جمله عرض گود، مشخصات خاک، وضعیت اقتصادی، محافظت از سازه مجاور، مسائل زیست‌محیطی، ساخت و نصب آسان و... دارد. برخی از سیستم‌های پایدارسازی نوین شامل شمع فولادی، شمع نگهبان، دیواره انعطاف‌پذیر، اختلاط عمیق خاک، شمع‌های ردیفی و دیواره شمع‌های مماسی می‌باشند^(۱) و^(۲) شمع نگهبان و دیواره انعطاف‌پذیر چوبی از جمله روش‌های نوینی می‌باشد که به‌طور فراگیر در سیستم‌های گودبرداری مورد استفاده قرار می‌گیرد. زمانی که خاک‌های بین شمع‌های نگهبان قادر به ابقا کردن خود باشند بار خاک می‌تواند به شمع‌های کناری انتقال یابد و نیازی به استفاده از دیواره انعطاف‌پذیر نمی‌باشد. در این شرایط بار خاک به‌وسیله طاق خاک انتقال داده می‌شود^(۱) و^(۳). عضو اصلی این سیستم، شمع فولادی H شکل که به‌صورت عمودی در فواصل ۱/۲ تا ۳ متر و دیواره انعطاف‌پذیر قرار گرفته مابین آن‌ها به‌منظور نگهداری خاک اطراف می‌باشد. دیواره انعطاف‌پذیر امکان دارد یکی از مصالح چوبی آره شده یا تخته‌های قالب‌بندی و یا حتی بتن پیش‌ساخته باشد. شمع‌های H شکل می‌تواند توسط کوبش، لرزش و یا حفاری گودال و روش خیس قرارگیری شمع در زمین در انتهای گودبرداری اجرا شود^(۴). مزیت اصلی استفاده از شمع‌های نگهبان قیمت تمام‌شده پایین و نصب آسان در مقایسه با

سایر سیستم‌های پایدارسازی می‌باشد. شمع‌های نگهبان اغلب به‌صورت دیوارهای پیوسته طراحی و آنالیز می‌شوند اگرچه در حقیقت فاصله زیادی داشته باشند^(۱)، ۵ و ۶]. در حقیقت شمع‌های نگهبان و دیواره‌های چوبی انعطاف‌پذیر تفاوت سازه‌ای و سختی دارند به این معنا که برهمکنش بین سیستم نگه‌دارنده و خاک در حالت طبیعی به‌صورت 3D می‌باشد. به‌رحال اکثر تحلیل‌های المان محدود (FE) که بر ای دیواره‌های شمع‌های نگهبان تا امروز انجام‌یافته‌اند به‌صورت دوبعدی و بر پایه کرنش مسطح صورت گرفته است^(۱)، ۸، ۷، ۹ و ۱۰]. Briavd and Lim در سال ۱۹۹۹ با استفاده از آنالیز سه‌بعدی المان محدود، دیواره شمع نگهبان دوخت به پشت را مورد مطالعه قرار دادند. همچنین در مطالعه آن‌ها پارامترهایی نظیر عمق گیردار شمع نگهبان در حالت‌های مختلف بررسی شده است. این محققین شمع نگهبان را به کمک تیر افقی مدل کردند. المان تیر شاید به‌صورت واقع‌گرایانه برهمکنش بین شمع نگهبان و خاک اطراف را نتواند نشان دهد^(۱۰). Hong و همکاران در سال ۲۰۰۲ برای مطالعه رفتار شمع‌های نگهبان و دیواره‌های انعطاف‌پذیر از آنالیز سه‌بعدی المان محدود استفاده نمودند^(۱۱). Ramadan نیز در سال ۲۰۱۳ تحلیل سه‌بعدی المان محدود برای سیستم پایدارسازی از نوع شمع هم‌جوار گودهای نزدیک سازه استفاده کرد^(۱۲). Yuepeng Dong در سال ۲۰۱۴ از مزیت آنالیز المان محدود در روند تحقیقات خود در گودهای عمیق استفاده کرد^(۱۳) Cao و همکاران در سال ۲۰۱۳ برای ارزیابی عملکرد سیستم دیوار شمع نگهبان در مرکز تجارت Toronto، که داخل خاک‌های رسی ساخته‌شده بود نتایج حاصل از ابزار دقیق و مدل‌سازی المان محدود را مقایسه نمودند^(۱۴) Johnsson and Sandeman. در سال ۲۰۱۴ به مدل‌سازی مهار SPW توسط نرم‌افزار و مقایسه نتایج این روش با اندازه‌گیری محلی در سایت پرداختند^(۱۵) Boliu and Weixu از نرم‌افزار 3D Flac جهت بررسی تأثیرات از بین رفتن سیستم پایدارسازی گودهای عمیق بر روی سازه‌های بلند و مجاور خطوط مترو استفاده نمودند^(۱۶).



در قسمت بالایی دیواره جهت مدل کردن وزن سازه‌های مجاور در نظر گرفته شده است. در شکل ۱ مدل مورد بررسی به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل (۱): مدل گودبرداری مورد بررسی

خاک بستر رسی و به صورت همگن و ایزوتوپ بوده و از مدل موهر- کولمب جهت مدل سازی رفتار آن استفاده شده است. مشخصات مکانیکی خاک بستر در جدول ۱ ارائه شده است.

هدف اصلی در مقاله حاضر بررسی رفتار گودبرداری‌های عمیق به روش شمع‌های ردیفی مهار شده می‌باشد. بدین منظور اثر عوامل دخیل مانند تغییرات میزان سربار، چسبندگی خاک، زاویه اصطکاک داخلی خاک و افزایش طول مهار در عملکرد سیستم دیوار برلینی مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور از نرم افزار PLAXIS 3D استفاده شده است. خاک بستر در مطالعه حاضر رس می‌باشد.

۲- مدل سازی عددی

در انتخاب مشخصات هندسی و مکانیکی خاک محل گود و سایر المان‌های مؤثر در رفتار سیستم تلاش گردیده که از پارامترهای معمول توصیه در جداول منابع فنی و مقالات استفاده شود تا نتایج حاصل از مدل سازی‌ها قابل بسط برای پروژه‌های عمرانی بوده و کاربردی باشند. در مدل اجزای محدود ساخته شده در این تحقیق، از المان‌های مثلثی ۱۵ گرهی استفاده شده تا دقت خوبی حاصل گردد. طول و عرض کلی مدل به ترتیب ۵۰ و ۴۰ متر انتخاب گردیده و گودبرداری مورد نظر با ارتفاع ۱۵ متر می‌باشد. دیواره مدل نیز قائم در نظر گرفته شده است. سرباری به عرض ۵ متر

جدول ۱: مشخصات مکانیکی خاک رس مورد بررسی

واحد	رس	نماد	پارامتر
-	مدل موهر- کولمب	Model	مدل رفتاری خاک
-	زهکشی شده	Type	نوع مصالح
KN/m ³	۱۷	γ	وزن مخصوص خشک
KN/m ³	۱۹	sat γ	وزن مخصوص اشباع
m/day	۰/۱	Kx, Ky	ضریب نفوذپذیری
KN/m ²	$10^4 \times 2/5$	E	مدول یانگ
KN/m ²	۲۰	C	چسبندگی
ϕ	۲۵	Φ	زاویه اصطکاک داخلی
ψ	۰	Ψ	زاویه اتساع
-	۰/۳	ν	ضریب پواسون
-	۰/۵	Rinter	ضریب کاهش



در نظر گرفته شده‌اند [۱۸]. انتخاب ابعاد مختلف مش بندی مدل نیز می‌تواند بر نتایج حاصل تأثیرگذار باشد. استفاده از مش بندی درشت ممکن است سبب کاهش دقت محاسبات و افزایش خطا گردد، درحالی‌که مش بندی ریز دقت محاسبات را افزایش داده و زمان بیشتری برای تحلیل و محاسبات طلب می‌کند. نرم‌افزار PLAXIS دارای ۵ اندازه خیلی درشت، درشت، متوسط، ریز و خیلی ریز برای مش بندی است که برای این مدل از مش بندی ریز، با توجه به سرعت و دقت مناسب استفاده شده است.

مدل‌سازی و تحلیل کلیه مدل‌ها با فرض عدم حضور آب زیرزمینی در لایه‌های نزدیک به سطح زمین صورت گرفته است. بر اساس پیشنهاد آیین‌نامه FHWA، فاصله شمع‌های ردیفی فلزی در راستای افقی ۳ متر در نظر گرفته شده است. علاوه بر ۱۵ متر گودبرداری، ۵ متر دیگر نیز به‌عنوان طول گیرداری شمع فلزی در نظر گرفته شده است. جدول ۲، مشخصات مواد دیواره شمع ردیفی فلزی (2IPE270) و میل مهار و پوشش بتنی آن را ارائه می‌نماید. المان‌های میل‌مهاری با رفتار الاستیک خطی در ۷ ردیف مدل‌سازی شده است. بر اساس پیشنهاد آیین‌نامه FHWA فاصله میل‌مهاری در راستای قائم ۲ متر و در راستای افقی ۳ متر

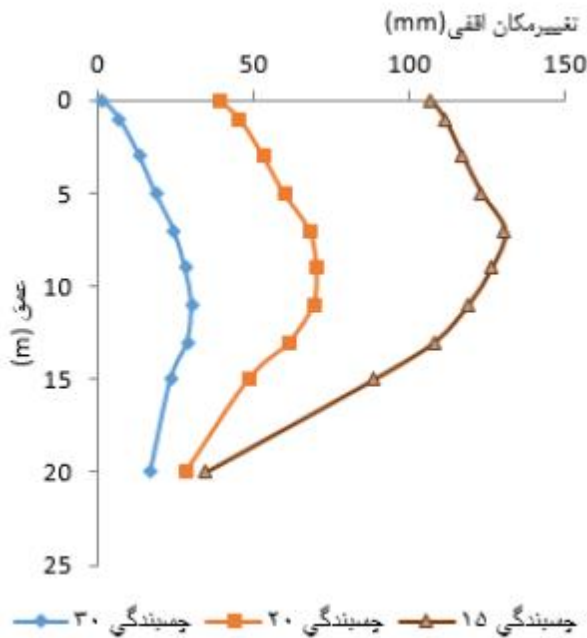
جدول ۲: مشخصات مکانیکی شمع ردیفی و میل مهار و پوشش بتنی آن

پارامتر	نماد	شمع ردیفی	مهار	پوشش بتنی	واحد
نوع رفتار	Type	خطی (Linear)	الاستیک	الاستیک	-
سطح مقطع	A	۰/۰۰۹۱۸	-	-	m ²
وزن واحد حجم	γ	۷۸/۵	۷۸/۵	۲۵	m ³ /KN
مدول الاستیسیته	E	۱۰ ^۸ ×۲/۱	-	-	m ² /KN
ممان اینرسی	I _x	۱۰ ^{-۴} ×۱/۱۵۸	-	-	m ^۴
	I _y	۱۰ ^{-۴} ×۰/۵۰۲	-	-	m ^۴
سختی محوری	EA	-	۱۰ ^۵ ×۱/۲۹۲	۱۰ ^۵ ×۱/۹۲۸	KN
سختی خمشی	EI	-	۶/۳۶۶	۱۰ ^۲ ×۱/۲۰۵	m ² /KN
ضریب پواسون	ν	۰/۳	۰/۳	۰/۱۵	-

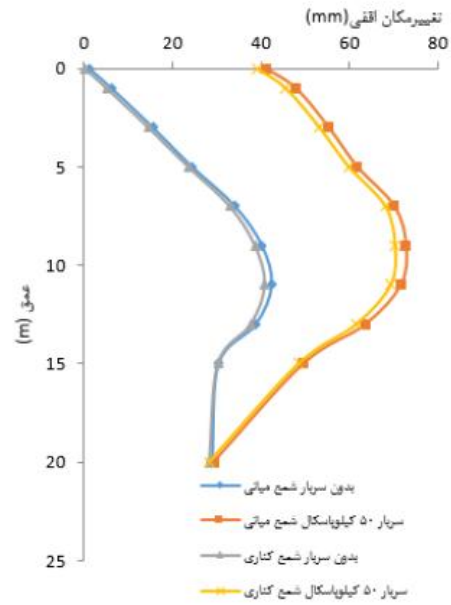
نمودار شکل ۲ ارائه گردیده است. با بررسی نتایج مربوط به تغییرشکل‌ها در خاک رس مشاهده می‌گردد که حداکثر تغییر مکان افقی دیوار برلینی در اثر سربار ۵۰ کیلوپاسکال ۷۲/۷۱ میلی‌متر بوده و حالت بدون سربار ۴۲/۳۴ میلی‌متر می‌باشد که حدود ۳۰/۳۷ میلی‌متر اختلاف دارند. همچنین در شمع کناری حداکثر تغییرمان افقی دیوار برلینی در اثر سربار ۵۰ کیلوپاسکال ۷۰/۳۸ میلی‌متر بوده و حالت بدون سربار ۴۰/۹۱ میلی‌متر می‌باشد.

۳- نتایج تحلیل

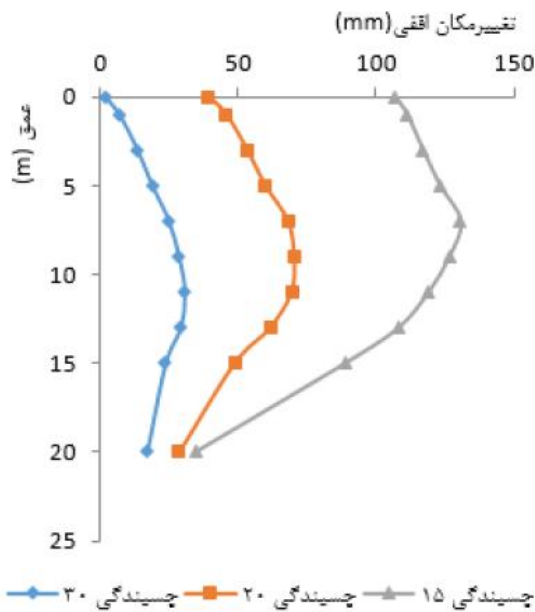
برای مدل‌سازی اثر وجود سازه مجاور گود مقادیر سربار از صفر تا ۵۰ کیلوپاسکال تغییر داده شده و محاسبات برای خاک با زاویه اصطکاک داخلی ۲۵ درجه و چسبندگی خاک ۲۰ کیلوپاسکال انجام گردید. بر اساس نتایج حاصله از تحلیل‌ها با افزایش سربار در مجاورت گود، تنش‌های اولیه افزایش یافته، پایداری سیستم تحت تأثیر قرار گرفته و تغییرشکل‌ها و نیروهای داخلی افزایش می‌یابد. نتایج تغییر مکان‌های افقی لبه گود در شمع میانی و کناری به شرح



شکل (۳): نتایج تغییر مکان‌های افقی شمع میانی با چسبندگی ۱۵، ۲۰ و ۳۰ و زاویه اصطکاک داخلی ۲۵ درجه

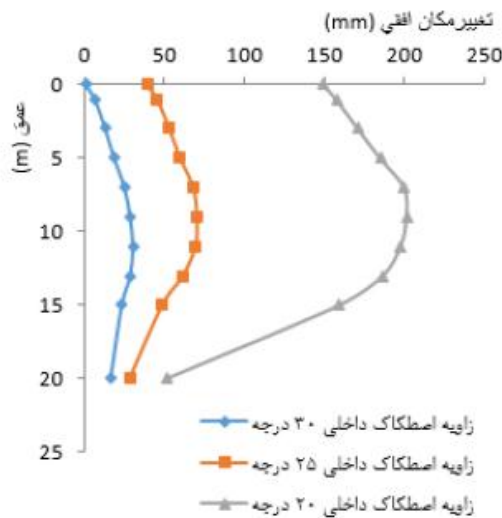


شکل (۴): تغییر مکان‌های افقی لبه گود در شمع‌های میانی و کناری



شکل (۴): نتایج تغییر مکان‌های افقی شمع کناری با چسبندگی ۱۵، ۲۰ و ۳۰ و زاویه اصطکاک داخلی ۲۵ درجه

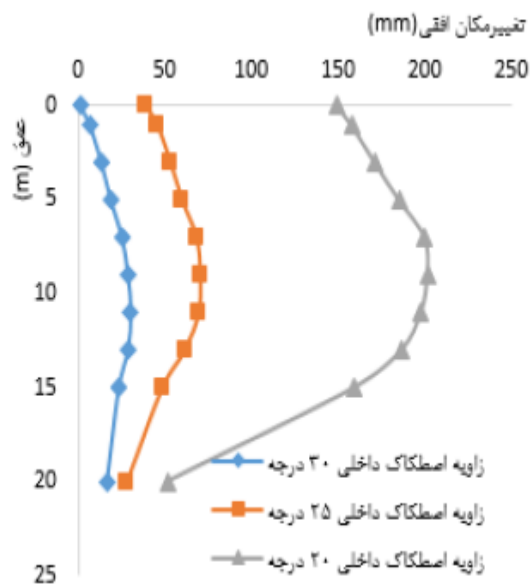
در شکل ۳ و ۴ نمودار تأثیر تغییرات چسبندگی خاک در تغییر مکان‌های افقی لبه گود با ثابت نگه‌داشتن زاویه اصطکاک داخلی خاک (۲۵ درجه) برای شمع‌های میانی و کناری ارائه شده است. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که با افزایش چسبندگی خاک تغییر شکل‌ها کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش چسبندگی خاک حداکثر تغییرمان افقی از میانه ارتفاع دیوار به یک‌سوم انتهایی دیوار نزدیک‌تر می‌شود.



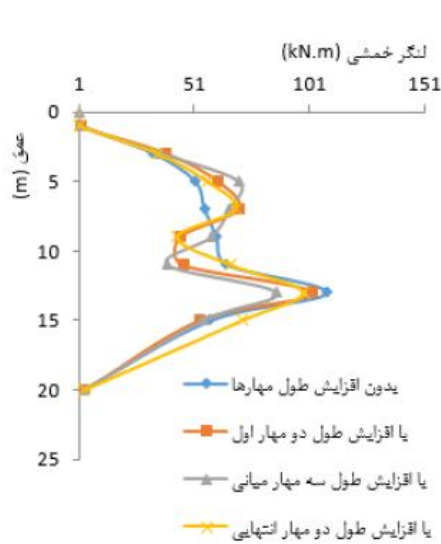
شکل (۶): نتایج تغییر مکان‌های افقی شمع کناری با زاویه اصطکاک داخلی ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه و چسبندگی $20kPa$

در ادامه با ثابت نگه‌داشتن مقادیر سربار، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک به بررسی اثر تغییر طول مهارها در میزان تغییر شکل‌ها پرداخته شده است. محاسبات در سه حالت افزایش طول دو مهار اول، افزایش طول سه مهار میانی و افزایش طول دو مهار انتهایی انجام شده است. با بررسی تغییر مکان‌های افقی شمع‌های ردیفی میانی و کناری دیوار برلینی در خاک رس با چسبندگی ثابت ۲۰ کیلوپاسکال و زاویه اصطکاک داخلی ثابت ۲۵ درجه و تغییر طول مهارها نتایج ذیل حاصل می‌گردد. با افزایش طول دو مهار اول، تغییر مکان‌های افقی دیوار نسبت به حالت بدون افزایش طول مهارها افزایشی به میزان ۱۰ میلی‌متر نشان می‌دهد که حاکی از نامناسب بودن این حالت دارد. با افزایش طول سه مهار میانی و همچنین افزایش طول دو مهار انتهایی، تغییر مکان‌های افقی دیوار نسبت به حالت بدون افزایش طول مهارها تفاوت چندانی نداشته و فقط به میزان ۳ میلی‌متر از تغییرمان افقی کاسته می‌شود.

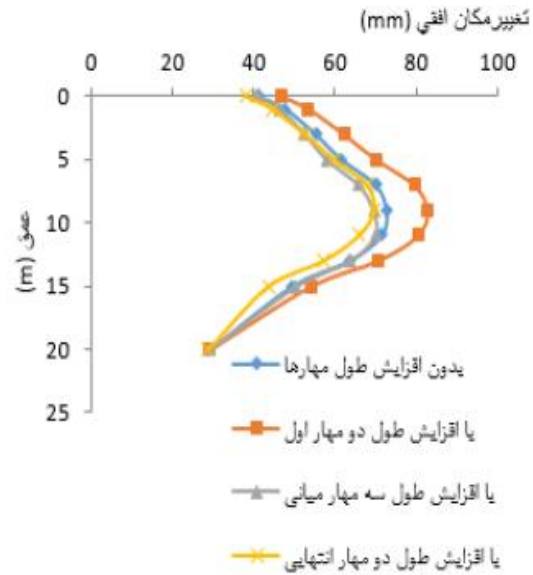
در ادامه اثر زاویه اصطکاک داخلی در میزان تغییر شکل‌ها بررسی شده است. بدین منظور با ثابت نگه‌داشتن مقدار سربار و چسبندگی خاک، زاویه اصطکاک داخلی ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه فرض گردیده است. با بررسی رفتار شمع‌های میانی و کناری دیوار این نتیجه حاصل می‌شود که با افزایش زاویه اصطکاک داخلی به میزان ۱۰ درجه تغییر شکل دیوار به شدت کاهش یافته و از مقدار ۲۰۵ میلی‌متر برای شمع میانی و ۲۰۲ میلی‌متر برای شمع کناری به ترتیب به مقادیر ۳۱ میلی‌متر برای شمع میانی و ۳۰ میلی‌متر برای شمع کناری می‌رسد که حدود ۱۷ سانتی‌متر کاهش نشان می‌دهد. نتایج تغییر مکان‌های افقی لبه گود در شمع میانی و کناری به شرح نمودار شکل‌های ۵ و ۶ ارائه گردیده است.



شکل (۵): نتایج تغییر مکان‌های افقی شمع میانی با زاویه اصطکاک داخلی ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه و چسبندگی $20kPa$



شکل (۸): نتایج لنگر خمشی شمع با و بدون افزایش طول مهارها در سه حالت



شکل (۷): نتایج تغییر مکانهای افقی شمع میانی و کناری با و بدون افزایش طول مهارها در سه حالت

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

- با افزایش چسبندگی خاک، تغییر شکل دیوار برلینی کاهش یافته و همچنین با افزایش چسبندگی خاک حداکثر تغییرمان افقی از میانه ارتفاع دیوار به یک سوم انتهایی دیوار نزدیک تر می شود.

- با افزایش زاویه اصطکاک داخلی، تغییر شکل دیوار برلینی کاهش می یابد ولی تأثیر آن کمتر از افزایش چسبندگی خاک می باشد.

- حالت افزایش طول دو مهار اول نسبت به حالت بدون افزایش طول مهارها از لحاظ تغییر مکان های افقی دیوار عملکرد نامناسبی دارد. تغییر مکان های افقی دیوار در حالت افزایش طول سه مهار میانی و همچنین حالت افزایش طول دو مهار انتهایی نیز تفاوت چندانی ندارد. بنابراین افزایش طول مهارها تأثیر چندانی در تغییرهای دیوار برلینی ندارد.

- افزایش طول سه مهار میانی نسبت به بقیه حالت ها عملکرد بهتری از لحاظ لنگر خمشی داشته و لنگر خمشی حداکثر به میزان قابل توجهی کاهش می یابد.

در ادامه لنگر خمشی دیوار برلینی برای حالت های مختلف تغییر طول مهارها بررسی شده و نتایج مطابق شکل ۸ ارائه شده است. نتیجه ای که از بررسی لنگر خمشی شمع های ردیفی میانی و کناری دیوار برلینی در خاک رس با چسبندگی ثابت ۲۰ کیلو پاسکال و زاویه اصطکاک داخلی ثابت ۲۵ درجه و تغییر طول مهارها در سه حالت حاصل گردید نشان می دهد که افزایش طول سه مهار میانی نسبت به بقیه حالت ها عملکرد بهتری از لحاظ لنگر خمشی داشته و به میزان ۲۲ کیلو نیوتن متر از لنگر خمشی حداکثر کاسته شده است.



۷-مراجع

- [1] Abd el-naiem.M.,Rushedy.A.,Abd el.Sanam.W. (2016). Numerical analysis of concrete soldier pile with steel sheet pile lagging supporting system in sandy soil, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 7, Issue 5, May -2016, ISSN 2229-5518.
- [2] DeepXcav)2012(, User's Manual DeepXcav software program,Version 2012, (Paratie Plus within Italy) Issued: 26-Oct-2012Deep Excavation C,www.deepexcavation.com
- [3] Trenching and Shoring Manual (2011).Offices of Structure Construction California Department of Transportation State of California. USA.
- [4] Urbanski.A.,Lukasz.m. (2015). Finit element analysis of lateral earth pressure on a lagging in soldier pile walls, engineering. Technicaltransactions,environmental.
- [5] Peck, R.B. (1969). Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground. *Proceedings of 7th Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Mexico. State of the Art Report, pp.225-290.
- [6] Potts, D. M. and Zdravković, L. (2001). Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering Application. Thomas Telford, London.
- [7] Gomes, Correia, A. and Guerra, N.M. (1997). Performance of three Berline-type Retaining Walls. *Proceedings of the 14th International Conferenc of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Hamburg, Vol. 2, pp. 1297-1300.
- [8] O' Rourke, T.D. (1975). A Study of two Braced Excavations in Sands and Interbedded Stiff Clay. *PhD Thesis*, University of Illinois, U.S.
- [9] Tsui, Y. and Clough, G.W. (1974). Plane Strain Approximations in Finite Element Analyses of Temporary Walls. *Proceedings of Conference on Analysis and Design in Geotechnical Engineering*, University of Texas, Austin, 1, pp173.Implications. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 125,No. 2, pp. 101-110.
- [10] Briaud, J.L. and Lim, Y. (1999). Tieback Walls in Sand: Numerical Simulation and Design.
- [11] Hong, S.H. (2002). behaviour of soldier piles and timber lagging support systems. National University Of Singapore.
- [12] Ramadan, E.H. (2013). Analysis of Piles Supporting Excavation Adjacent to Existing Buildings. *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Paris 2013.
- [13] Yuepeng, D. (2014). Advanced finite element analysis of deep excavation case histories. Department of Engineering Science University of Oxford.
- [14] Cao, L.F., Peaker, S.M., Ahmad, S. (2013). Performance of a deep excavation in downtown Toronto. *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Paris 2013.
- [15] Johansson, E. and Sandeman, E. (2014) Modeling of A Deep Excavation In Soft Clay. Master of Science Thesis in the Master's Programme Infrastructure And Environmental Engineering. Department of Civil And Environmental Engineering Division of Geo Engineering Chalmers University of Technology Gothenburg, Sweden.



[16] Bo Liu¹, Wei Xu and Krishna, R. Reddy, F., ASCE, P.E. (2015). Effects of Demolishing the Deep Excavation Support System Used for Tall Building Construction on Adjacent Metro Line: Modeling and Field Comparison. IFEE2015, San Antonio, TX, March 17-21.

