



## ارزیابی رفتار دیوارهای مهاربنددار انعطاف پذیر در خاکهای ماسه ای

شهرام سلیمانپور<sup>۱</sup>، فرزین کلانتری<sup>۲</sup>، میرعبدالحمید مهرداد<sup>۳</sup>  
شهرام سلیمانپور - کرج، مهرویلا، خ انوشیروان غربی، مجتمع پارسیان، پ ۱۵۲

Email: sh\_geotechnic@yahoo.com

### خلاصه

در این مقاله رفتار سپرهای مهاربنددار انعطاف-پذیر که درون ماسه قرار گرفته اند و خاک ماسه ای را در پشت خود نگهداری می کنند، به کمک روش عددی اجزاء محدود و با استفاده از نرم افزار دو بعدی مورد بررسی قرار گرفته است. مدل عددی، سپر را با المان تیر، سطح تماس خاک-سازه را با المان فصل مشترک، طول غیر محصور مهاربندها را با المان انکر گره به گره، طول محصور شده مهاربندها را با المان ژئوتکستایل و خاک را توسط مدل پلاستیک مور-کولمب شبیه سازی نموده است. مراحل کامل ساخت شامل سپر کوبی، خاکبرداری، قرار دادن مهاربندها و ایجاد پیش تنیدگی در آنها مدلسازی شده است. سپس مدل عددی توسط یک مدل واقعی ابزارگذاری شده، کالیبره گردیده، و با استفاده از یک مطالعه پارامتریک، تأثیر فاکتورهای نظیر: شرایط مرزی مدل هندسی، مشخصات خاک، اندرکنش خاک-سازه، زاویه تمایل مهاربندها، موقعیت اتصال مهاربند اول و فاصله میان مهاربندها، بر روی رفتار سپر مطالعه شده است.

کلمات کلیدی: دیوار مهاربنددار انعطاف پذیر، اندرکنش خاک-سازه، ماسه، تحلیل اجزاء محدود، نرم افزار Plaxis

### مقدمه

دیوارهای حائل مهاربند دار، سازه های نگهدارنده متداولی، جهت نگهداری از دیواره های خاکبرداری شده موقت و یا دائمی می باشند. اگر چه تکنیکهای ساخت چنین سازه هایی بسرعت توسعه یافته اند، اما رفتار مجموعه پیچیده سازه، مهاربند و اندرکنش خاک با این اعضاء، بطور کامل قابل درک نمی باشد. یکی از روشهای بررسی عملکرد این سازه ها، انجام مطالعات آزمایشگاهی می باشد. از جمله دانشمندیانی که در این زمینه فعالیت نموده اند می توان، Hanna & Matallana, 1970, Hanna & Kurdi, 1974, Liu & Dugan, 1972, Plant, 1972, James & Phillips, 1971, Anderson & Hanna, 1977 را نام برد.

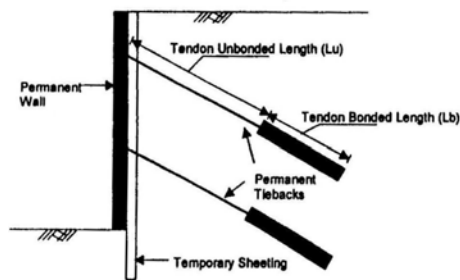
همانطور که قبلاً توضیح داده شد، دیوارهای مهاربند دار (شکل ۱)، به علت اینکه متشکل از چند عضو می باشند، و هر یک رفتار خاص خود را در برخورد با نیروهای وارده دارند، و اندرکنش خاک با هر یک از این اعضاء متفاوت می باشد، لذا تحلیل و طراحی این دیوارها به علت پیچیدگی، عمدتاً با استفاده از روشهای تجربی و در نظر گرفتن فرضیات ساده کننده صورت می گیرد. از روشهای متداول در طراحی دیوارهای مهاربند دار، روش دیاگرام فشار ساده (Terzaghi & Peck, 1967) بوده که جهت محاسبه نیروهای انکر و نمودار لنگر خمشی در سپر استفاده می شود. روش دیگر، روش تیر-ستون (Halliburton, 1968 – Matlock, 1981) می باشد. حل کامپیوتری روش فوق، به شرطی که در ابتدا نیروهای انکر انتخاب و معرفی شوند، جهت تعیین نمودار لنگر خمشی، نیروی محوری و تغییر شکل سپر بکار می رود. از مقایسه دو روش مشخص می گردد که برتری روش تیر-ستون نسبت به روش دیاگرام فشار ساده، امکان پیش بینی تغییر شکل سپر و همچنین تعیین نمودار لنگر خمشی دقیق تری می باشد. البته پیش بینی تغییر شکلهای حاصل از این روش به اندازه لنگرهای خمشی محاسبه شده، قابل اطمینان نیستند، زیرا در این روش، مدل از جایجایی توده خاک صرف نظر می نماید. در این میان، روشهای عددی و بویژه روش اجزاء محدود (FEM)، نوع دیگری از توانمندی را که در آن ابعاد و اجزاء مختلف مدل بطور همزمان در تحلیل دیده می شوند را ارائه می نمایند.

روش اجزاء محدود را در ابتدا توسعه داده، در حالیکه Wayne Clough، بطور ویژه از این روش در تحلیل دیوارهای مهاربنددار استفاده نمود (Clough, 1974 – Clough, 1984). این روش قابلیت تعیین نمودار لنگر خمشی، نیروی محوری، نیروی انکر، نمودار تغییر شکل دیوار و تغییر شکل سطح خاک را دارا می باشد.

<sup>۱</sup> مهندس (کارشناس ارشد)

<sup>۲</sup> دکتر

<sup>۳</sup> دکتر

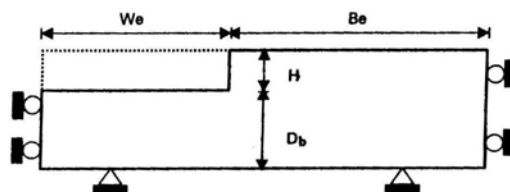


شکل ۱- تصویر کلی از سپرهای مهاربند دار

روش اجزاء محدود (FEM) جهت تحلیل سازه های نگهدارنده مهاربند دار توسط دانشمندان دیگری نظیر Tsui, 1974, Hunder, 1976, Desai, 1986, Fernandes & Falcao, 1988 و Lim & Briaud, 1996، مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق رفتار دیوارهای انعطاف پذیر مهاربند دار با استفاده از نرم افزار Plaxis مورد بررسی قرار گرفته است. اساس این مطالعه بر پایه کالیبراسیون یک مدل عددی توسط یک مدل واقعی ابزار گذاری شده می باشد. پس از انجام کالیبراسیون، با استفاده از مدل کالیبره شده، مبادرت به تحلیل حساسیت مدل عددی و مطالعه فاکتورهای متفاوت موثر بر رفتار سپر گردیده است.

### شرایط مرزی مدل هندسی :

در مدلسازی های عددی همواره یکی از مراحل اساسی، تعیین محل مناسب مرزهای مدل هندسی می باشد، به نحوی که اثر این مرزها بر روی نتایج حاصله به کمترین مقدار خود برسد. اثر شرایط مرزی توسط محققینی با استفاده از مدل الاستیک خطی مطالعه شده است (Lim & Briaud, 1996). در این تحقیق مشخص گردید که بهترین موقعیت مرز پائین مدل، در ارتفاعی می باشد که خاک بطور قابل ملاحظه ای سخت تر می گردد. مطابق شکل (۲)، فاصله کف خاکبرداری تا لایه سخت،  $Db$  نامیده می شود. بر اساس تحقیق انجام شده،  $Db$  یک اثر خطی بر روی جابجایی قائم سطح زمین در تراز بالای دیوار خواهد داشت. اما در مقایسه اثر خیلی کوچکی بر روی جابجایی افقی سپر دارد. در شرایط واقعی، لایه سنگ بستر در عمق ۹ متری از کف خاکبرداری قرار دارد، لذا در تحلیل انجام شده  $Db$  برابر ۹ متر انتخاب شده است.



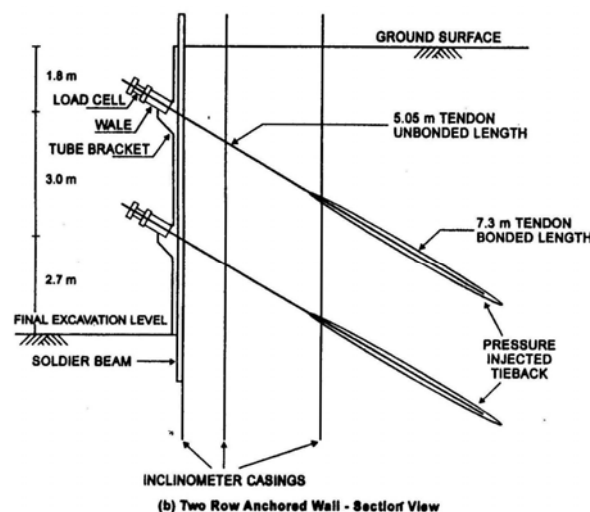
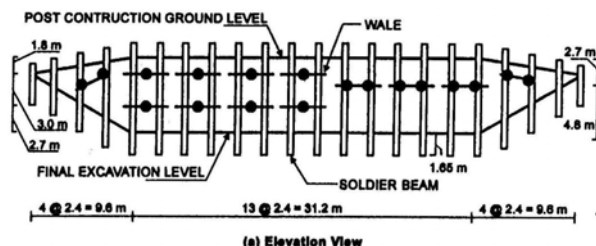
شکل ۲- معرفی ابعاد مختلف مدل هندسی

با ملاحظه پارامترهای  $H$ ,  $We$ ,  $Be$ ,  $Db$  مطابق با شکل (۲)، و براساس مطالعه انجام شده توسط (Lim & Briaud, 1996) محرز گردید که  $We = 3Db$  و  $Be = 3(H+Db)$  مقادیر مناسبی برای  $We$  و  $Be$  می باشند. این یافته ها، تحقیقات انجام شده (Duncan & Dunlop, 1970) را تأیید می نماید. اما در این مقاله مشخص شده است که،  $Db = 1.2H$  و  $We = 3Db$ ,  $Be = 3.5(H+Db)$ ، بهینه ترین مقادیر جهت استقرار مرزهای مدل هندسی می باشند. در این مقاله  $H$  برابر ۷٫۵ متر،  $Db$  برابر ۹ متر،  $Be$  برابر ۵۸ متر و  $We$  برابر ۱۰ متر انتخاب شده اند. مقدار کوچک  $We$  که با عبارت  $We = 3Db$  متفاوت می باشد، بدلیل خاکبرداری U شکل، که در شرایط واقعی به عرض ۲۰ متر انجام شده است، می باشد و در مدلسازی به علت تقارن، نصف عرض در نظر گرفته شده است.

### مشخصات دیوار مهاربنددار ابزارگذاری شده در دانشگاه A&M تگزاس :

اداره کل بزرگراههای امریکا، در سال ۱۹۹۱، اقدام به ساخت یک دیوار سپری مهاربنددار با مقیاس واقعی، در سایت مطالعات ژئوتکنیک دانشگاه A&M تگزاس نمود (شکل ۳). هدف از ساخت این دیوار، ابزارگذاری آن جهت مطالعه رفتار دیوارهای نگهدارنده انعطاف پذیر مهاربند دار بوده است. این دیوار به طول ۶۰ متر و ارتفاع ۷٫۵ متر احداث شده است. بخشی از این دیوار با کوبیدن شمع های فلزی  $H$  شکل، در یک امتداد، با فاصله مرکز تا مرکز ۲٫۴۴ متر، و بخش دیگر بصورت حفاری زمین و قرار دادن شمع های فلزی  $H$  شکل در عمق مورد نظر، و سپس تزریق ملات در اطراف آنها ساخته شده اند. شمع های  $H$  شکل، از پروفیل های نوع HP 6\*24 بوده که طولی برابر ۹٫۱۵ متر داشته، عمق مدفون شمع برابر ۱٫۶۵ متر و ارتفاع خاکبرداری معادل ۷٫۵ متر می باشد. برای پر کردن فضای بین شمع ها از تخته های چوبی به طول ۲٫۴ متر، عرض ۰٫۳ متر و ضخامت ۷۵ میلی متر استفاده شده است.

در اینجا از دیوار دو ردیف مهاربند برای کالیبراسیون مدل استفاده شده، که در آن مهاربندها با زاویه ۳۰ درجه نسبت به افق و در فواصل ۱.۸ و ۴.۸ متر از نوک دیوار قرار گرفته اند. در اطراف قسمتی از مهاربندها که طولی معادل ۷.۳ متر می باشد، با استفاده از ملات مخصوص تزریق انجام گرفته و طول ۵.۰۵ متر آن فاقد تزریق می باشد. قطر میل مهارها برابر ۲۵ میلی متر بوده که این قطر در محل تزریق شده معادل ۸۹ میلی متر می باشد. خاک محل، ماسه سیلت دار با تراکم متوسط، با وزن مخصوص خشک  $18.5 \text{ kn/m}^3$  می باشد. همچنین با توجه به انجام آزمایش SPT در محل، عدد NSPT از  $N=10$  در سطح خاک افزایش یافته و به  $N=27$  در زیر شمع می رسد. زاویه اصطکاک داخلی خاک  $\Phi=32^\circ$  بوده و میزان چسبندگی خاک صفر می باشد.



شکل ۳- نما و مقطع دیوار مهاربنددار ابزار گذاری شده، در دانشگاه A&M تگزاس

### تشریح مدل سازی عددی

مطالعه عددی انجام شده با استفاده از نرم افزار دو بعدی Plaxis و انتخاب شرایط کرنش مسطح (Plane Strain) انجام گرفته است. مقادیر پارامترهای مورد نیاز جهت شبیه سازی مدل واقعی، مطابق جدول (۱) بوده، همچنین براساس شکل (۴)، شبیه سازی مدل واقعی، با استفاده از دو لایه خاک با ویژگیهای نسبتاً متفاوت می باشد. در تعیین مقدار مدول الاستیسیته خاک (E) نیز، از روابط تجربی میان NSPT و E استفاده شده است. با توجه به اینکه در مدل واقعی، قسمت اول مهاربند فاقد تزریق بوده و در اطراف قسمت دوم تزریق ملات صورت گرفته، لذا در مدل سازی، قسمت اول با المان انکر گره به گره و قسمت دوم با المان ژئوتکستایل مدل شده است. در شبیه سازی سپر، از المان تیر استفاده شده و مشخصات سپر با عنایت به پروفیل HP 6\*24، که دارای سختی خمشی  $EI = 11620 \text{ kn.m}^2$  و سختی محوری  $EA = 1.47E6 \text{ kn}$  می باشد، و با توجه به فاصله مرکز تا مرکز ستونها برابر ۲.۴۴ متر، سختی خمشی و محوری در واحد عرض محاسبه شده است. در اطراف سپر المان انکر گره به گره از المانهای فصل مشترک استفاده گردیده است. همچنین در مدل سازی، مدل پلاستیک مور-کولمب با المانهای مثلثی پانزده گرهی متوسط، بکار رفته است.

### مقایسه نتایج مدل عددی با مدل واقعی

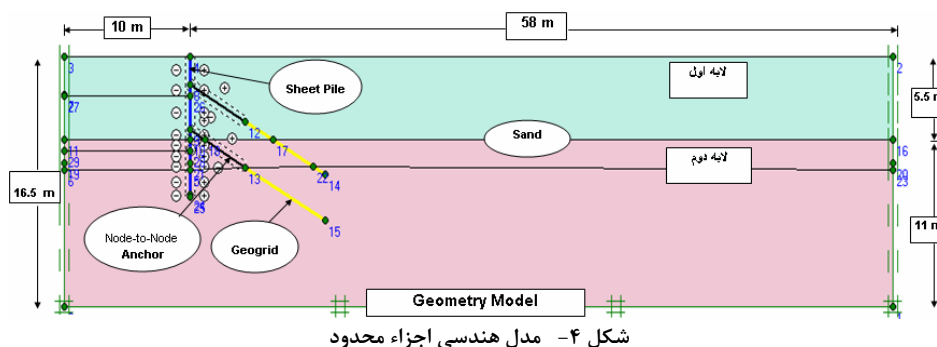
همانطور که در شکل (۵) مشخص است، الگوی تغییر شکل سپر و میزان تغییر مکانهای افقی در مدل عددی، بسیار نزدیک و در پاره ای اوقات کاملاً منطبق با مدل واقعی بوده است به نحوی که میزان خطای متوسط محاسبه شده برابر ۳.۵ درصد می باشد. همچنین در شکل (۶) نمودارهای لنگر خمشی مشخص شده اند که در هر دو نمودار، لنگرهای خمشی ماکزیمم با هم برابر بوده و الگوی نمودارها تقریباً یکسان می باشد. اما علت اختلاف نسبتاً زیاد لنگرهای خمشی در قسمت پایین سپر اینست که دیوار در حالت واقعی با استفاده از شمع و تخته های پر کننده ساخته شده، اما در مدل عددی با توجه به شرایط کرنش مسطح، از سپر جهت مدل سازی استفاده شده است و بدلیل سطح تماس بیشتر سپر نسبت به شمع های H شکل، درگیری با خاک بیشتر بوده، لذا لنگرهای منفی پایین سپر کاهش یافته اند و منحنی به سمت لنگرهای مثبت تغییر مکان یافته است.

جدول ۱- مشخصات لایه های خاک و اعضاء سازه ای سپر

DATA OF SOIL							
Calibrated Model	خاک - (Coulomb - Mohr)						
	$\gamma_d$ (KN/m <sup>3</sup> )	$\Phi$	E (KN/m <sup>2</sup> )	$\nu$	C (KN/m <sup>2</sup> )	Rin	K <sub>0</sub>
First Layer	18.5	32	40000	0.3	0	0.4	0.58
Second Layer	18.5	32	49000	0.3	0	0.8	0.455

DATA OF STRUCTURAL ELEMENTS							
انکر				ژنوگرید	سپر		
ANC.	LSP (m)	EA (KN)	Prestress Force (KN/m)	EA (KN/m)	EI (KN.m <sup>2</sup> /m)	EA (KN/m)	$\nu$
1	2.44	1.03E+05	160	1.00E+05	4762	6.03E+05	0.33
2	2.44	1.03E+05	150				

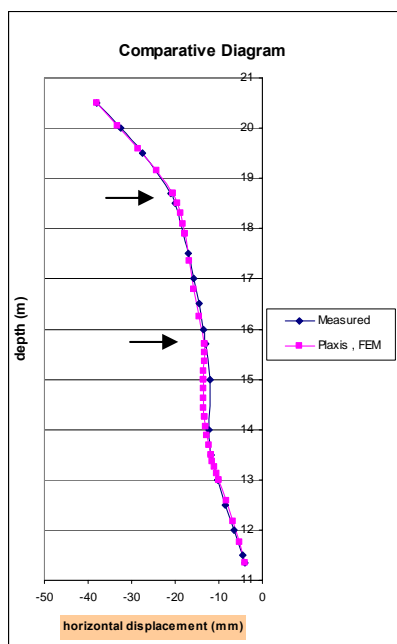


### تحلیل حساسیت مدل عددی

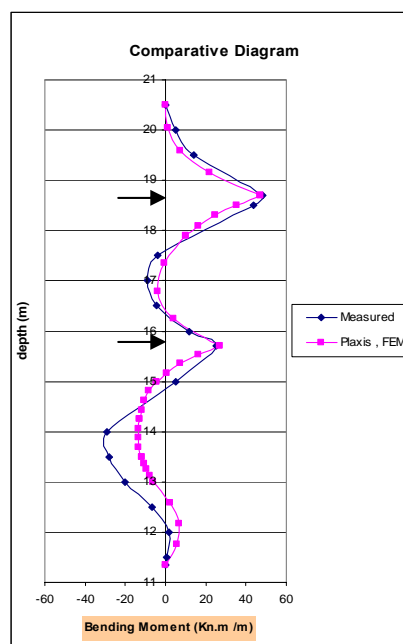
در این قسمت حساسیت رفتار سپر نسبت به تغییر بعضی از پارامترها، نظیر: مشخصات خاک، اندرکنش خاک-سازه، زاویه تأمیل مهاربندها، موقعیت اتصال مهاربند اول و فاصله میان مهاربندها ارزیابی می گردد.

### مشخصات خاک

با بررسی اثر پارامترهای مقاومتی و مکانیکی خاک و با توجه به ایجاد شرایط پلاستیک، تغییرات مدول الاستیسیته خاک (E)، در نتایج لنگر خمشی، تغییر مکان افقی، جابجایی قائم سطح زمین، فشارهای جانبی محرک و مقاوم، و نیروی محوری ایجاد شده در سپر بی اثر می باشد. افزایش وزن مخصوص خاک (γ) سبب افزایش میزان جابجایی های افقی سپر شده و نمودار لنگرهای خمشی و فشارهای افقی محرک و مقاوم را دچار تغییر می نماید. همچنین افزایش وزن مخصوص خاک میزان تغییر مکان های قائم سطح زمین در پشت سپر را افزایش داده و نیروی محوری ایجاد شده در سپر را نیز تحت تأثیر قرار می دهد. تغییرات زاویه اصطکاک داخلی (Φ) به شدت، تغییر مکان های افقی سپر را متأثر نموده و هر چه Φ کمتر باشد میزان جابجایی افقی سپر بیشتر می گردد. تغییرات Φ، اثر خطی بر روی جابجایی های افقی سپر نداشته و به عبارت دیگر در یک درصد مساوی کاهش و افزایش Φ نسبت به یک مقدار مینا، اثر کاهش Φ در افزایش جابجایی افقی سپر به مراتب بیشتر از اثر افزایش Φ در کاهش جابجایی های افقی می باشد. تغییرات زاویه Φ نمودار لنگر خمشی را تحت تأثیر قرار داده و با کاهش زاویه Φ، لنگرهای خمشی منفی، به نحو چشمگیری افزایش می یابند. کاهش زاویه Φ باعث افزایش نشست قائم سطح زمین در پشت سپر شده، و تغییرات زاویه Φ، فشارهای جانبی وارده به سپر را نیز دچار تغییر می نماید به نحوی که کاهش مقدار Φ، فشارهای جانبی محرک را افزایش می دهد.



شکل ۵- نمودار تغییر مکانهای افقی مدل واقعی و مدل عددی



شکل ۶- نمودار لنگرهای خمشی مدل واقعی و مدل عددی

### اندرکنش خاک-سازه

کاهش درصد اصطکاک در فصل مشترک خاک-سازه، سبب افزایش تغییرمکان افقی سپر شده و چنانچه مقدار آن از یک حدی بیشتر شود، دیگر اثری بر روی کاهش جابجایی افقی سپر ندارد. تغییرات اصطکاک در تعیین لنگرهای خمشی سپر بی اثر بوده، اثر کوچکی بر روی نشست های قائم زمین در پشت سپر داشته، و تأثیر ناچیزی نیز بر روی فشارهای جانبی وارد به سپر دارد. همچنین با توجه به اینکه هر چه اصطکاک در فصل مشترک خاک-سازه بیشتر باشد، درگیری خاک با سپر افزایش یافته و در نتیجه نیروهای عمودی بیشتری به سپر وارد می گردد، لذا افزایش اصطکاک، بطور خطی نیروی محوری در سپر را افزایش می دهد.

### اثرات زاویه تمایل مهاربندها، بر روی رفتار سپر:

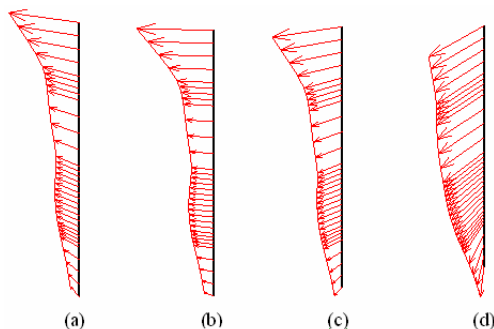
مطابق تحقیقات انجام شده توسط (Plant, 1972) و (Anderson & Hanna, 1977)، مشخص گردیده است، هنگامیکه زاویه تمایل انکرها نسبت به افق کم باشد، جابجایی سپرها عمدتاً از نوع دورانی بوده و با افزایش زاویه تمایل، جابجایی های انتقالی نیز افزایش می یابند. همچنین هر چه زاویه تمایل بیشتر باشد، نشست سطح زمین در پشت سپر نیز افزایش می یابد. لذا در این مقاله اثر قرار گیری مهاربندها، تحت زوایای ۰، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه نسبت به افق، بر روی رفتار سپر، مطالعه شده است. مطابق شکل (۷)، در حالتی که مهاربندها بصورت افقی می باشند (زاویه صفر درجه)، سپر علاوه بر جابجایی افقی، دچار حرکت به سمت بالا نیز می شود و با افزایش زاویه تمایل، در حالت مربوط به زاویه ۱۵ درجه، میزان حرکت به سمت بالا در سپر کمتر شده و تقریباً می توان، فقط جابجایی افقی را برای آن در نظر گرفت. همچنین در حالتیکه زاویه تمایل مهاربند به ۳۰ درجه می رسد، سپر علاوه بر جابجایی افقی، حرکت به سمت پائین هم خواهد داشت. و در شرایط مربوط به زاویه تمایل ۴۵ درجه، میزان جابجایی به سمت پائین سپر، بسیار زیاد می شود. همچنین مطابق شکل (۸) هر چه زاویه تمایل مهاربند کمتر باشد، به دلیل افزایش مؤلفه افقی نیروی مهاربند، میزان تغییر مکان افقی سپر کاهش می یابد. اما قرار گیری مهاربندها تحت زاویه ۴۵ درجه، به یکباره سبب ایجاد تغییر مکانهای بزرگتر از حد معمول می گردد. مطابق شکل (۹)، تغییر زاویه قرار گیری مهاربندها از ۰ تا ۳۰ درجه، اثر چندانی بر روی لنگر خمشی ندارد، و در حالت مربوط به زاویه ۴۵ درجه، به علت کاهش بیشتر مؤلفه افقی نیروی مهاربندها، تغییر چشمگیری در نمودار لنگر خمشی رخ داده است. همچنین هرچه زاویه تمایل بیشتر باشد، میزان جابجایی و نشست قائم سطح زمین در پشت سپر نیز افزایش می یابد.

### رفتار سپر تحت اثر جابجایی محل اتصال مهاربند اول:

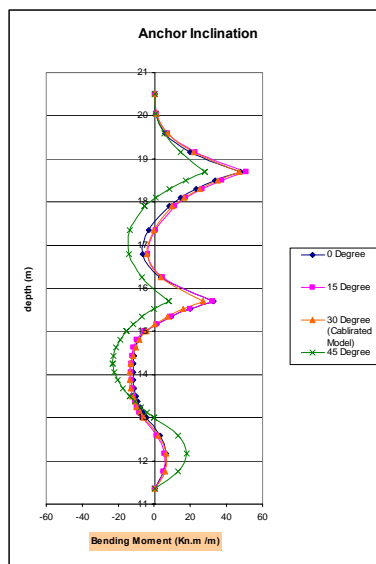
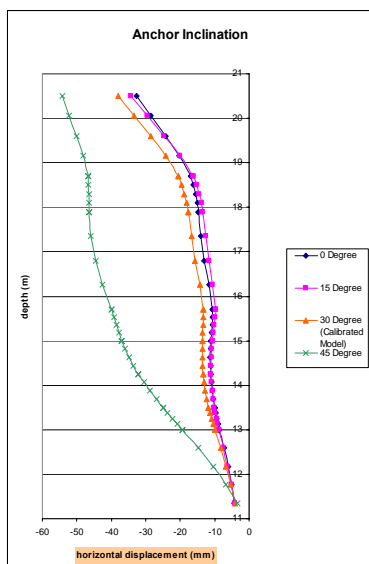
در این بخش، موقعیت اتصال مهاربند اول از ۰.۶ تا ۱.۸ متر، نسبت به نوک سپر تغییر نموده، و در همه حالتها زاویه تمایل مهاربندها ثابت، و مهاربند دوم همواره ۳ متر پائین تر از مهاربند اول قرار گرفته است. در شرایطی که انکر اول در فواصل ۱.۲ و ۱.۵ متری از نوک سپر قرار گرفته است، مطابق شکلهای (۱۰) و (۱۱) تغییر مکانهای افقی سپر و لنگرهای خمشی ماکزیمم بوجود آمده در آن، نسبت به موقعیت های دیگر کمتر می باشد. همچنین هر چه فاصله



انکر اول از نوک سپر بیشتر باشد، میزان نشست سطح زمین در پشت سپر افزایش یافته، و موقعیت انکر اول تأثیر کمی بر روی تغییرات نیروی محوری ایجاد شده در سپر دارد.

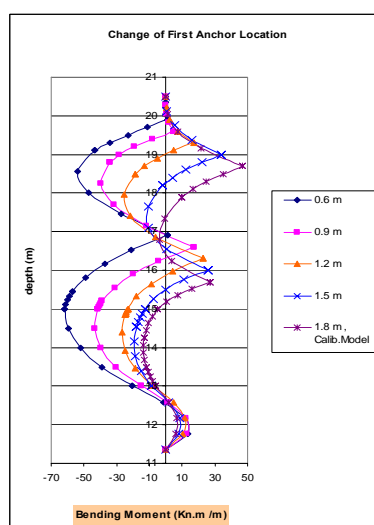
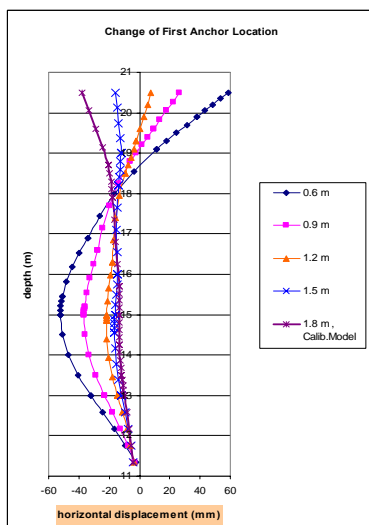


شکل ۷- نحوه تغییر مکان سپر بر اساس زاویه تمایل انکرها نسبت به افق  
(a) ۰ درجه (b) ۱۵ درجه (c) ۳۰ درجه (d) ۴۵ درجه



شکل ۸- نمودار تغییر مکانهای افقی سپر، در اثر تغییر زاویه تمایل انکرها

شکل ۹- نمودار لنگر خمشی سپر، در اثر تغییر زاویه تمایل انکرها

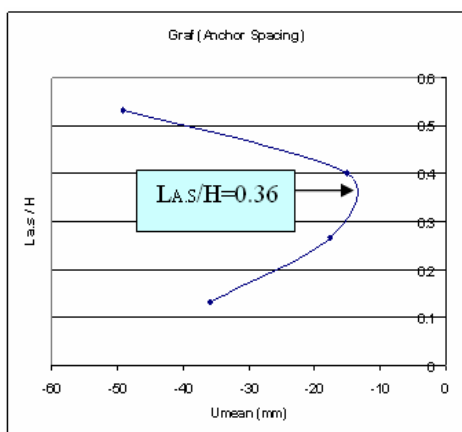


شکل ۱۰- نمودار تغییر مکانهای افقی سپر، در اثر تغییر محل اتصال انکر اول

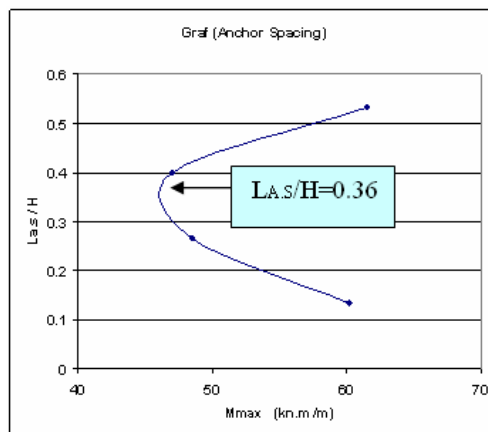
شکل ۱۱- نمودار لنگر خمشی سپر، در اثر تغییر محل اتصال انکر اول

### رفتار سپر تحت تأثیر تغییر فاصله مهاربندها از یکدیگر:

در این قسمت رفتار سپر در شرایطی که طی آن فاصله عمودی بین دو مهاربند برابر ۱، ۲، ۳ و ۴ متر می باشد، بررسی شده است. تغییرمکانهای افقی سپر در حالتیکه فاصله بین مهاربندها ۲ و ۳ متر است، دارای کمترین مقدار، و در شرایطی که فاصله بین مهاربندها ۱ و ۴ متر است، دارای بیشترین میزان می باشند. همچنین در حالتی که فاصله بین انکرها، ۲ و ۳ متر می باشد، لنگرهای خمشی حداکثر دارای کمترین مقدار و در سایر موارد دارای بیشترین مقدار می باشند. همچنین جهت نتیجه گیری بهتر در شکل (۱۲) نسبت فاصله میان انکرها به عمق خاکبرداری، در برابر تغییرمکان افقی متوسط سپر و در شکل (۱۳) نسبت فاصله میان انکرها به عمق خاکبرداری، در برابر قدر مطلق لنگر خمشی حداکثر نمایش داده شده اند. مطابق شکل (۱۲) هر چه نسبت  $LA.S/H$  از ۰,۱۳۳، بیشتر گردد، میزان تغییر مکان متوسط کاهش می یابد. و در  $LA.S/H = 0.36$ ، کمترین تغییرمکان افقی متوسط وجود دارد و با افزایش مجدد این نسبت، میزان تغییرمکان متوسط نیز افزوده می گردد. همچنین براساس شکل (۱۳) نیز، چنانچه نسبت  $LA.S/H$ ، از مقدار ۰,۱۳۳، بیشتر گردد، قدر مطلق لنگر خمشی حداکثر کاهش یافته و در شرایطی که  $LA.S/H = 0.36$  می باشد، کمترین لنگر خمشی حداکثر اتفاق می افتد و مجدداً با افزایش این نسبت، افزایش لنگرهای خمشی حداکثر را خواهیم داشت. بنابراین  $LA.S/H = 0.36$ ، یک مقدار بهینه جهت تعیین فاصله بین مهاربندها می باشد، به نحوی که در اثر آن تغییرمکانهای افقی متوسط و لنگرهای خمشی حداکثر به کمترین مقدار خود می رسند. همچنین در حالتیکه فاصله بین مهاربند ها ۲ و ۳ متر می باشد، سطح زمین در پشت سپر کمترین میزان نشست را داشته و در سایر موارد، مقدار حداکثر نشست به شدت افزایش می یابد.



شکل ۱۲- نسبت فاصله مهاربندها به ارتفاع خاکبرداری، در برابر تغییر مکان افقی متوسط



شکل ۱۳- نسبت فاصله مهاربندها به ارتفاع خاکبرداری، در برابر قدر مطلق لنگر خمشی حداکثر

### نتیجه گیری

- ۱- مطابق شکل (۲)، ابعاد بهینه جهت ایجاد مدل هندسی بصورت  $We = 3Db$  و  $Be = 3.5(H+Db)$ ،  $Db = 1.2H$  می باشند.
- ۲- مدول الاستیسیته خاک (E) با توجه به ایجاد شرایط پلاستیک، در نتایج لنگرخمشی، تغییرمکان افقی، جابجایی قائم سطح زمین، فشارهای جانبی محرک و مقاوم، و نیروی محوری ایجاد شده در سپر بی اثر می باشد. افزایش وزن مخصوص خاک ( $\gamma$ ) سبب افزایش میزان جابجایی های افقی و تغییرمکان های قائم سطح زمین در پشت سپر شده و نمودار لنگرهای خمشی و فشارهای محرک و مقاوم را دچار تغییر می نماید. همچنین تغییرات وزن مخصوص خاک نیروی محوری ایجاد شده در سپر را نیز تحت تأثیر قرار می دهد. تغییرات زاویه اصطکاک داخلی ( $\Phi$ ) به شدت، تغییرمکان های افقی سپر را متأثر نموده و هر چه  $\Phi$  کمتر باشد میزان جابجایی افقی سپر بیشتر می گردد. همچنین تغییرات زاویه  $\Phi$  نمودار لنگر خمشی را تحت تأثیر قرار داده و کاهش آن باعث افزایش نشست قائم سطح زمین در پشت سپر می گردد. مقدار زاویه  $\Phi$ ، بر روی فشارهای جانبی وارده به سپر اثر داشته به نحوی که کاهش مقدار  $\Phi$ ، فشارهای جانبی محرک را افزایش می دهد.
- ۳- کاهش درصد اصطکاک در فصل مشترک خاک-سازه، سبب افزایش تغییرمکان های افقی سپر شده و تغییرات آن در تعیین لنگرهای خمشی سپر بی اثر می باشد. همچنین اثر کوچکی بر روی نشست های قائم زمین در پشت سپر و فشارهای جانبی وارده دارد. افزایش اصطکاک، درگیری خاک با سازه را بیشتر کرده لذا سبب افزایش نیروی محوری ایجاد شده در سپر می گردد.
- ۴- هر چه زاویه تمایل مهاربندها نسبت به افق کمتر باشد، میزان تغییر مکانهای افقی سپر کاهش یافته، و تغییر زاویه قرارگیری مهاربندها از ۰ تا ۳۰ درجه، اثر چندانی بر روی لنگرهای خمشی ندارد. همچنین هرچه زاویه تمایل کمتر باشد، نشست قائم سطح زمین در پشت سپر نیز کاهش می یابد. لذا بهترین زاویه قرارگیری مهاربندها نسبت به افق، زاویه ۱۵ درجه می باشد.
- ۵- بهترین موقعیت اتصال انکر اول در فاصله ۱,۲ تا ۱,۵ متری از نوک سپر بوده، زیرا طی آن تغییر مکانهای افقی سپر و لنگرهای خمشی ماکزیمم، نسبت به موقعیت های دیگر کمتر می باشند. همچنین هر چه فاصله انکر اول از نوک سپر بیشتر باشد، میزان نشست سطح زمین در پشت سپر افزایش می یابد.



۶- چنانچه ،  $L.A.S$  ، بیانگر فاصله میان انکرها و  $H$  ، نمایشگر عمق خاکبرداری باشد ، و نسبت  $L.A.S/H$  را در برابر تغییرمکان افقی متوسط سپرو قدر مطلق لنگر خمشی حداکثر قرار دهیم ، بنابراین  $L.A.S/H = 0.36$  ، یک نسبت بهینه جهت تعیین فاصله بین مهاربندها می باشد ، به نحوی که در اثر آن تغییرمکانهای افقی متوسط و لنگرهای خمشی حداکثر به کمترین مقدار خود می رسند.

#### مراجع

1. Hanna, T.H. & Mattallana, G.A.(1970). The Behaviour Of Tied-back Retaining Walls. Can. Geotech.J.7(4),PP.372-396.
2. James, E.L. & Phillips, S.H.E.(1971). Movement Of A Tied Diaphragm Wall During Excavation. Ground Eng. 4(4), pp.14-16.
3. Plant , G .W. (1972). An Assessment Of Multi – Anchored Retaining Wall Behavior. Ph.D thesis,University Of Sheffield, England.
4. Liu, T.K. & Dugan, J.P. (1972). An Instrumented Tied-back Deep Excavation. Proc. ASCE Spec. Conf. Performance Of Earth & Earth-Supported Structures, 1(2),pp.1323-1339.
5. Hanna, T.H. & Kurdi, I.I. (1974). Studies On Anchored Flexible Retaining Walls In Sand. ASCE J. Geotech.Div.100(Gt10),pp.1107-1122.
6. W. F. Anderson & T. H. Hanna. (1977). Model Tests On Anchored Walls Retaining Overconsolidated Sands. Department of Civil Engineering, The University, Mappin, Sheffield, England.
7. Terzaghi, K. & Peck , R.B. (1967). Soil Mechanic In Engineering Practice. John Wiley & sons.NewYork.
8. Haliburton, T.A.(1968). Numerical Analysis Of Flexible Retaining Structures. Proc, ASCE, 94(6),1233-1251.
9. Matlock, H., Bogard ,D., & Lam, I.(1981). BMCOL76: A Computer Program For The Analysis Of Beam-Column Under Static Axial And Lateral Loading. Program developed at the university of texas at Austin, under grant from fugro, Inc., and documented at ertec, Inc.,Long Beach, Calif.
10. Clough, G. W. & Tsui, Y. (1974). Performance Of Tied-back Walls In Clay. ASCE. J. Geotech.Div, 100 (GT12). pp. 1259-1273.
11. Clough, W.G. (1984). User's Manual For Program Soil Structure. Department Of Civil Engineering, Virginia Polytechnical Institute, Blacksburg, Va.
12. Tsui, Y. (1974). A Fundamental Study Of Tied-back Wall Behavior. Ph.D, Thesis, School Of Engineering , Duke University, Durham.
13. Hunder, I.J.(1976). Deformation And Earth Pressure. Proc.,Panel Discussion ,6th ECSMFE,Vol.4, 37-40.
14. Desai, C.S. & Sheele, F. (1986). Interaction Analysis Of Anchor – Soil Systems. J.Geotech, ASCE 112(5),537-553.
15. Fernandes,M.M. & Falcao, J.C.(1988). The Nonlinear Behavior Of Ground Anchors & Its Consideration In Finite Element Analysis Of Tied- back Walls. Proc.num. Meth in Geomech, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 1243-1248.
16. Briaud, J. L. & Lim, Y. (1996). Tieback Walls In Sand: Numerical Simulation And Design Implications. Rep. to Schnabel Foundation & The Federal Highway Administration, Department of Civil Engineering, Texas A&M University, College Station, Tex.
17. Dunlop,P. & Duncan, J.M.(1970). Development Of Failure Around Excavated Slopes. J.Soil Mech. & Found. Div, ASCE, 96(2),471-493.