حساسیت سنجی پارامترهای هندسی دیواره و مکانیکی خاک روی ماکزیمم نیروی کششی میخ ها در سیستم دیوارهای نگهبان میخکوبی شده–پایدار شده مکانیکی

سعید محمدی لامع[۱]، ناصر عرفاتی[۲]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تفرش
۲- عضو هیئت علمی و استادیار دانشگاه تفرش

saeid2148@gmail.com
nasser.arafati@gmail.com

خلاصه

یکی از مسائل مهم کنونی در حوزه حمل و نقل افزایش روز افزون حجم ترافیک جاده های موجود می باشد که کارشناسان را مجاب به ارائه روشهای مختلف عریض سازی این جاده ها نموده است. یکی از روشهای مدرن در این زمینه استفاده از سیستم مرکب دیوارهای نگهبان میخکوبی شده-پایدار شده مکانیکی جهت احداث یک جاده دو خطه غیر همسطح می باشد. در این سیستم ابتدا دیوار میخکوبی شده با خاکبرداری مرحله ای اجرا می شود و پس از آن، شیب بالای این دیوار در یک مرحله خاکبرداری شده و خاک مسلح با خاکریزی مرحله ای تا دست یابی به ارتفاع لازم ادامه می یابد.

در این مقاله میزان اثر گذاری ۱۳ متغیر بر روی ماکزیمم کشش ایجاد شده در میخ ها در انتهای ساخت دیواره مرکب، ارائه می گردد. متغیرهای بررسی شده شامل زاویه اصطکاک داخلی خاک، چسبندگی خاک، وزن مخصوص خاک، ارتفاع دیوار میخکوبی شده، طول میخ ها، فاصله بندی افقی و قائم میخ ها، قطر میلگردهای بکار رفته در دیوار میخکوبی شده، زاویه قرار گیری میخ ها در خاک، زاویه شیب دیوار میخکوبی شده، ارتفاع دیوار پایدار شده مکانیکی، عقب کشی دیوار پایدار شده مکانیکی و طول ژئوگریدها می باشد.

بررسی پارامترهای مقاومتی خاک نشان دهنده این بود که با بهبود پارامترهای مقاومتی، خاک سهم بیشتری از نیروهای محرک را جذب (تحمل) می کند. همین امر موجب می شود تا با افزایش پارامترهای مقاومتی برشی، نیروهای کششی در میخ ها کاهش یابند. نقش زاویه اصطکاک داخلی در این مورد بیشتر از چسبندگی و وزن مخصوص خاک بدست آمد. همچنین با تغییر و بهبود پارامترهای هندسی در سیستم نیز میخ ها رفتار متفاوتی در جذب نیروی کششی از خود نشان دادند که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

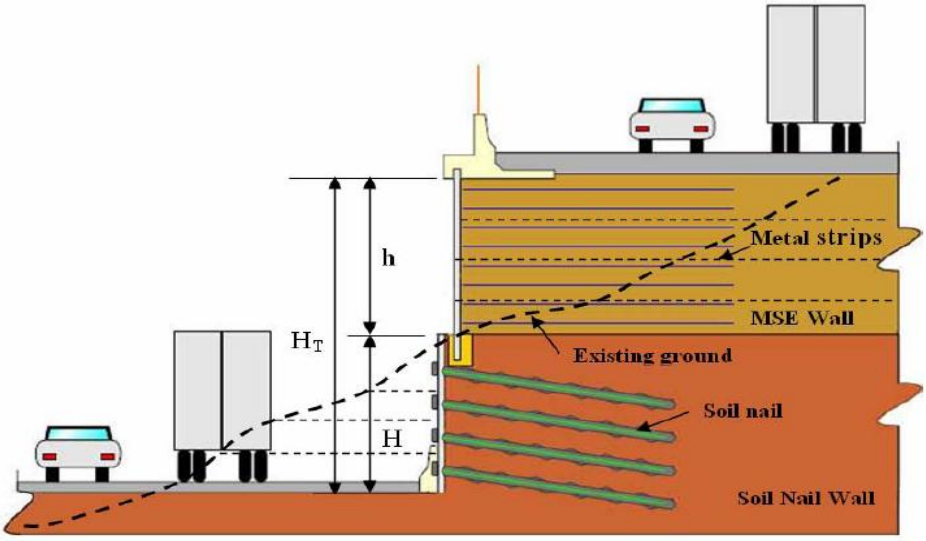
کلمات کلیدی: میخکوبی خاک، دیوارهای پایدار شده مکانیکی، ماکزیمم کشش میخ ها، تحلیل استاتیکی.

۱–مقدمه

میخکوبی خاک یک روش تسلیح درجای خاک با بکار بردن المان های کششی عموماً فلزی و از نوع میلگردهای معمول یا میله های توخالی می باشد. این میله ها یا به عبارتی میخ ها می توانند بصورت منفرد و یا بصورت ترکیبی با دوغاب سیمان جهت بالا بردن چسبندگی مابین میخ و خاک طبیعی بکار روند. این سیستم اغلب برای پایدارسازی گودها و شیب های مستعد لغزش و یا برای مواردی که نیاز به بارگذاری روی آنها وجود دارد بکار برده می شوند.

روش پایدار سازی مکانیکی خاک نیز یک روش مسلح سازی خاک جهت بالا بردن خواص مکانیکی خاک می باشد که به صورت اجرای خاکریز و بکار بردن المانهای کششی که اغلب از نوع ژئوگرید ها یا ژئوتکستایل ها هستند اجرا می شود.

در برخی موارد مجبور به استفاده از سیستم های مرکب جهت دست یابی به اهداف مشخصی می باشیم. به عنوان مثال روش ترکیبی دیوارهای میخکوبی شده-پایدار شده مکانیکی یکی از همین موارد می باشد که بیشتر جهت اجرای جاده های غیر همسطح و یا عریض سازی جاده های موجود بکار می رود(شکل(۱)).



شکل (۱) نمای کلی سیستم (Hybrid wall)

جهت بررسی هر سیستمی ۳ روش عمده وجود دارد که عبارتند از:

۱- ساخت نمونه های عملی در مقیاس واقعی و اعمال بارهای پیش بینی شده یا اعمال شرایط مورد نظر تا اینکه نمونه به حد گسیختگی برسد و آزمایش در کل فرایند ساخت تا حد گسیختگی و بدست آوردن نتایج مورد نیاز.

۲- ساخت نمونه هایی در مقیاس های آزمایشگاهی و آزمایش روی آنها به جهت توجیه اقتصادی

۳- استفاده از نرم افزارهایی که صحت کاربرد آنها در پروژه های مشابه به اثبات رسیده و نتایج آنها با نتایج عملی مقایسه و تایید شده است.

در مورد سیستم های با هزینه ساخت بالا مطمئناً گزینه اول با دشواری هایی چه در جهت ابعاد و چه در جهت تعداد ساخت همراه خواهد بود. با ساخت نمونه های آزمایشگاهی نیز در تمامی موارد نمی توان به نتایج مورد نظر دست یافت.

روش متداولی که در اینگونه موارد بکار می رود استفاده از نرم افزارهای معتبر که صحت نتایج آنها به اثبات رسیده است می باشد. روش کلی بدین صورت می باشد که ابتدا از نرم افزار مربوطه در مدلسازی چند نمونه مشابه که نتایج آزمایشگاهی یا عملی نمونه در دست باشد بکار می رود و با اثبات صحت نتایج خروجی می توان برای مدلهای پیچیده تر نیز از نرم افزار مربوط استفاده نمود. در علوم مهندسی به این کار در اصطلاح معتبرسازی نرم افزار مربوطه اطلاق می شود. در این مقاله با انتخاب یک نمونه عملی اجرا شده در مورد دیوارهای میخکوبی شده و دیوارهای پایدار شده مکانیکی و مدلسازی آنها با نرم افزار المان محدود PLAXIS صحت نتایج بدست آمده از این نرم افزار مورد بررسی قرار گرفته است.

پس از اطمینان صحت کاربرد نرم افزار بایستی مدل اصلی مورد بحث انتخاب شود. در این مورد با مشخص نمودن اهداف، سعی در انتخاب مدل مناسبی شده است تا جوابگوی مطالعات مورد نظر باشد. در این مورد مدل مورد نظر تشکیل یافته از یک دیوار مرکب (Hybrid Wall) می باشد که جهت احداث دو جاده غیر هم سطح بکار برده شده است.

۲- معتبر سازی نرم افزار PLAXIS

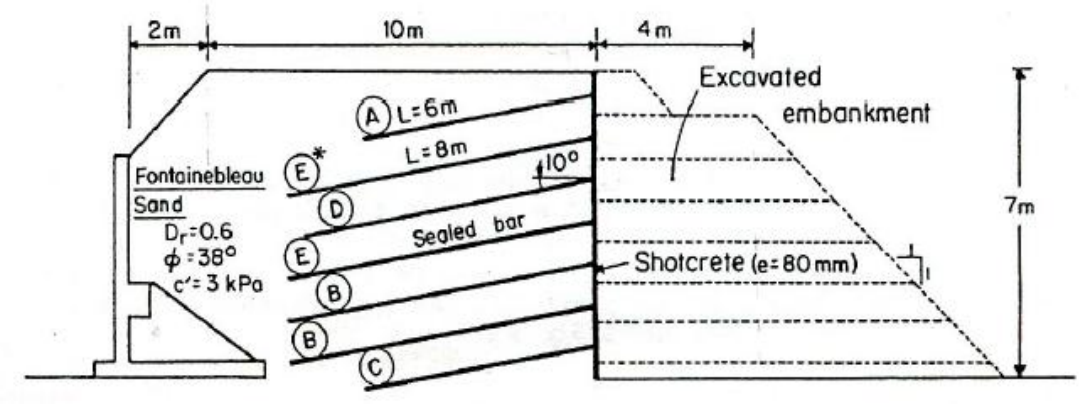
۲-۱- دیوار CLOUTERRE

یک نمونه عملی با مقیاس واقعی از دیوارهای میخکوبی شده در سال ۱۹۸۶ در کشور فرانسه ساخته شد که این دیوار بخشی از پروژه تحقیقاتی ملی این کشور محسوب می شود.کلیه تحقیقات لازم از مرحله ساخت تا مرحله شکست روی این دیوار صورت گرفت.

از آنجائیکه این دیوار یکی از معدود نمونه های واقعی ساخته شده در این مورد می باشد می تواند مبنای خوبی جهت معتبر سازی نتایج حاصل از مدل سازی با نرم افزار PLAXIS و مقایسه نتایج عملی و نرم افزاری در این مورد باشد. این دیوار در ۳ نمونه مشابه ساخته شد و سه پارامتر موثر در خرابی این دیوارها بطور جداگانه روی هر یک از دیوارها بررسی شد. در شکل (۲) نمای کلی این دیوار نشان داده شده است.

این دیوار در ۳ نمونه مشابه ساخته شد و سه پارامتر موثر در خرابی این دیوارها بطور جداگانه روی هر یک از دیوارها بررسی شد.

این سه پارامتر عبارتند از خرابی ناشی از افزایش ارتفاع حفاری، شکستگی مهارها در خاک اشباع و شکست ناشی از کاهش گیرایی میخ ها بر اثر کاهش طول میخ ها. در این تحقیق به بررسی شکستگی ناشی از اشباع کردن خاک می پردازیم.

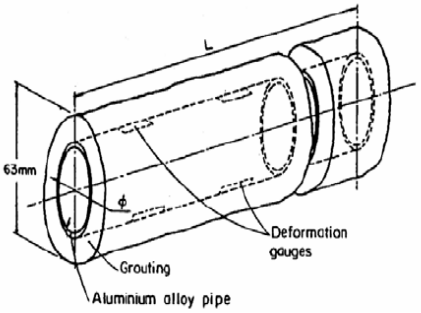


شکل(۲) نمای کلی از دیوار CLOUTERRE و جزئیات آن

پارامترهای مقاومت برشی از آزمایشهای مربوطه تعیین شدند که نتایج حاصل عبارت بود از: $\varphi = 38$ و $c = 3$ کیلو پاسکال. وزن مخصوص ماسه پس از تراکم ۱۶٫۶ kN/m3 بدست آمد.

این دیوار در هشت مرحله حفاری ساخته شد که ارتفاع هر مرحله حفاری برابر ۱ متر بود. میخ هایی از نوع آلومینیومی توخای در فواصل ۱متری افقی و ۱/۱۵ متری عمودی اجرا شدند و در نهایت شاتکریتی به ضخامت ۸۰ میلی متر رویه آن را می پوشاند.

پس از اتمام مراحل ساخت از بالای دیوار جریان آبی بکار انداخته شد تا دانسیته خاک را افزایش و چسبندگی آن را کاهش دهد. جزئیات اجرایی دیوار و میخ ها در شکل های (۲) و (۳) نشان داده شده است.



ϕ (mm)	e (mm)	L (m)	Type of nail
16	1	6	A
30	2	8	B
40	1	6 7.5 8	C D E

ϕ: قطر لوله آلومینیومی و e: ضخامت لوله آلومینیومی و L: طول میخ ها

شکل (۳) جزئیات مسلح کننده های بکار رفته در دیوار CLOUTERRE

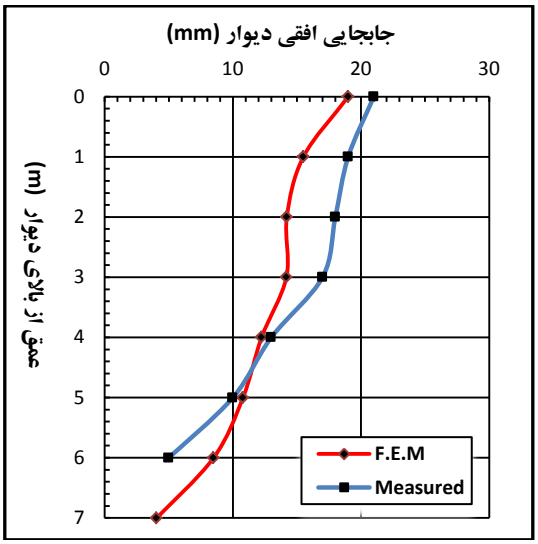
جابجایی نهایی دیوار نسبت به پنجه آن در حدود ۰٫۳ درصد ارتفاع (۲۱ میلی متر) اندازه گیری شد. مشاهدات مربوطه حاکی از این بود که جابجایی عمودی دیوار با جابجایی افقی آن تقریبا یکسان می باشد. شکل (۶) جابجایی دیوار در زمان ساخت و خرابی را نشان می دهد.

نتیجه دیگر اینکه خط ماکزیمم کشش موجود در فاصله ای حدود ۰,۳ ارتفاع دیوار از رویه در بالای دیوار رخ می دهد و کشش ماکزیمم در میخ های بالایی ایجاد می شود و هر چه به سمت میخ های پایین حرکت کنیم از میزان کشش کاسته می شود.

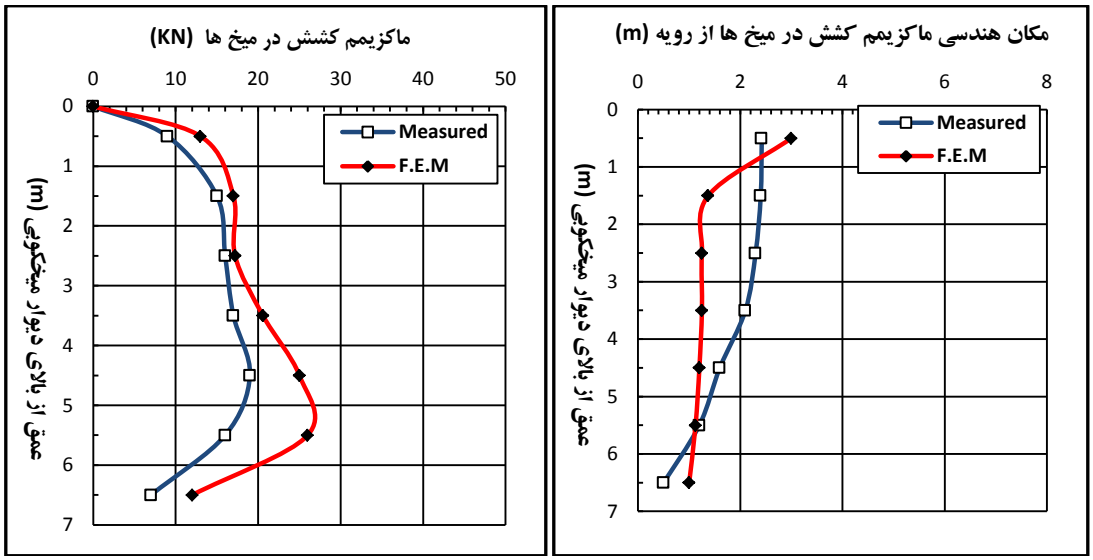
۲-۱-۱- مدل سازی دیوار CLOUTERRE توسط نرم افزار PLAXIS

در این مدلسازی به جهت توزیع بهتر مدول یانگ در عمق، خاک به سه قسمت تقسیم شد. نوع مش بندی برای المان خاک از نوع **Fine** و مثلثی ۱۵ گرهی و برای میخ ها و تزریق اطراف آن و رویه دیوار از المان **plate** استفاده گردید. نتایج حاصل از این مدلسازی در شکل های (۴) تا (۶) و با کلمه (F.E.M) آمده است.

ضریب اطمینان محاسبه شده توسط نرم افزار نیز برابر ۱,۵۶۰ بدست آمد. شکل (۴) جابجایی افقی دیوار نسبت به عمق آن را نشان می دهد. جابجایی های فوق در تاج و نقاط چسبیده به رویه دیوار قرائت شده اند. شکل (۵) و (۶) ماکزیمم کشش در میخ ها و مکان هندسی آنها را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود همخوانی خوبی مابین نتایج مدلسازی و نتایج عملی مشاهده می شود.



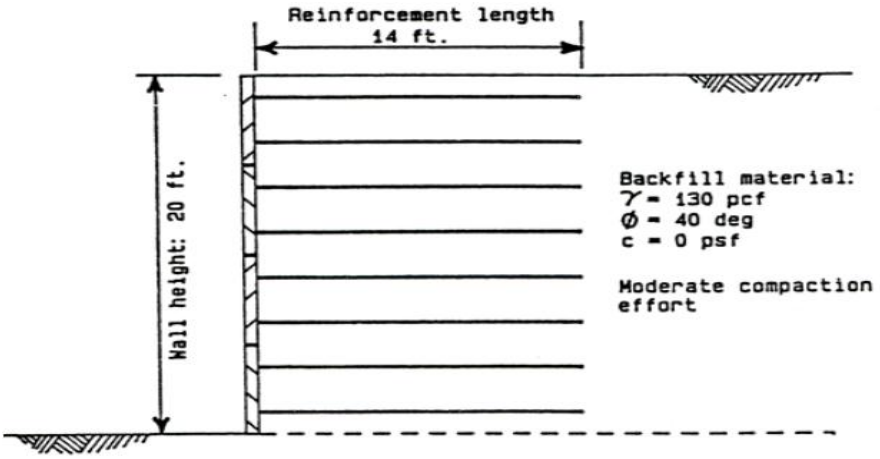
شکل(٤) جابجایی افقی دیوار CLOUTERRE در مقایسه با نتایج عملی



شکل(۵) و (٦) ماکزیمم کشش در میخ ها و مکان هندسی آنها در دیوار CLOUTERRE

۲-۲- دیوار MSE شماره ۳ (FHWA)

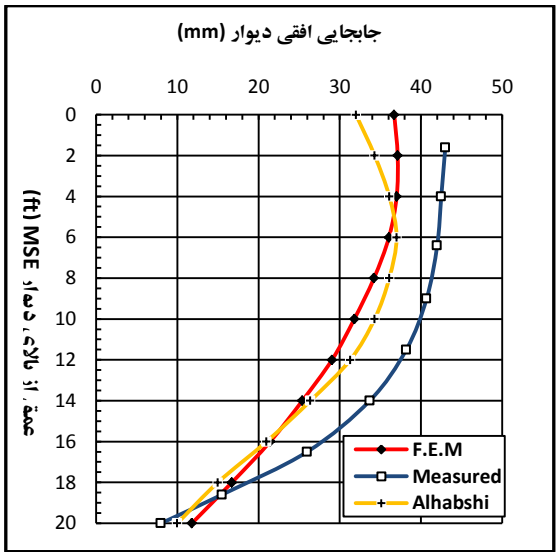
دیوار شماره ۳ (FHWA) یکی از دیوارهای در مقیاس واقعی پایدار شده مکانیکی است که توسط اداره کل بزرگ راههای ایالات متحده ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت. دیوار مورد بررسی در اینجا یکی از ۶ دیوار ساخته شده در این طرح بود که جزئیات آن در شکل (۷) مشاهده می گردد. ارتفاع دیوار برابر ۲۰ فوت، طول مسلح کننده ها برابر ۱۴ فوت، زاویه اطکاک داخلی خاک ۴۰ درجه، وزن مخصوص خاک ۱۳۰ pcf، چسبندگی خاک برابر صفر psf و مدول یانگ مسلح کننده ها 4,176,000 ksf می باشد.



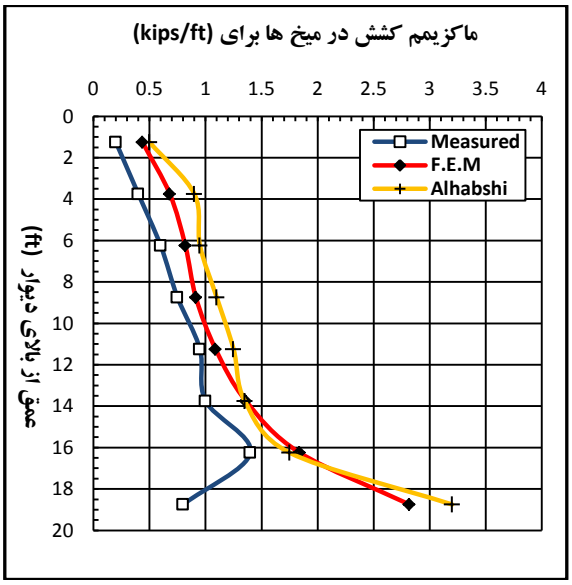
شکل (۷) نمای کلی دیوار شماره ۳ FHWA

۲-۲-۱- مدلسازی دیوار MSE شماره ۳ (FHWA) توسط نرم افزار PLAXIS

نتایج بدست آمده از مدل سازی این دیوار در شکلهای (۸) و (۹) مشاهده می شود که با نتایج عملی و مدلسازی مشابه توسط (Alhabshi,2006) که توسط نرم افزار plaxis v 8 بدست آمده مقایسه گردیده است.



شکل (۸) جابجایی افقی در برابر عمق دیوار درمقایسه با تحلیل های انجام یافته



شکل(۹) ماکزیمم کشش ایجاد شده درمسلح کننده های خاک در برابر عمق دیوار

شکل های (۸) و (۹) به ترتیب نشان دهنده جابجایی افقی وماکزیمم کشش ایجاد شده در مسلح کننده ها در برابر عمق دیوار می باشند که با نتایج بدست آمده از آزمایش عملی (Measured) و نتایج مدلسازی (Alhabshi,2006) مقایسه شده اند. همانطور که از این دو شکل مشخص است نتایج نرم افزار PLAXIS (F.E.M) در مدل سازی این نوع دیوارها قابل قبول بوده و به نتایج عملی نزدیک می باشد.

۳-انتخاب دیوار پایه (Base wall) و مدلسازی با نرم افزار PLAXIS

جهت انتخاب دیوار مرکب تا حد امکان سعی گردید از نمونه های عملی ساخته شده در این مورد استفاده گردد. تا کنون دیوارهای میخکوبی شده و پایدار شده مکانیکی متعددی ساخته شده اند که می توانند مبنای استفاده در این تحقیق قرار بگیرند.

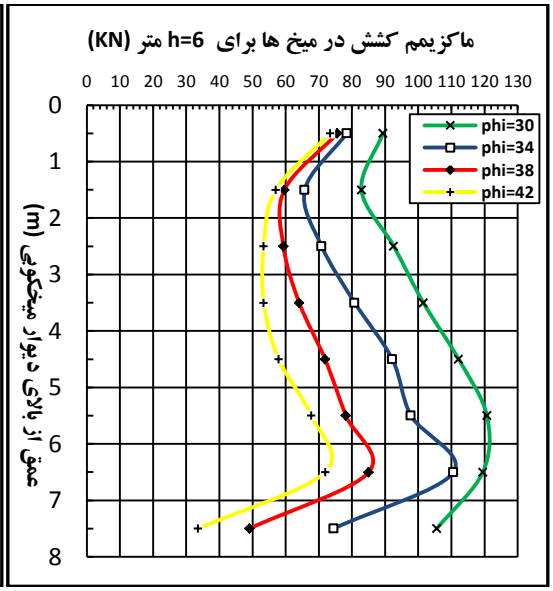
در اینجا از اطلاعات مربوط به دیوار میخکوبی شده A-2 در تگزاس ایالات متحده و دیوار شماره ۳ FHWA که یک دیوار آزمایشی ساخته شده در مقیاس واقعی بود استفاده شد. تنها تغییر در مدل هندسی، افزایش طول ژئوگرید ها از ۱۴ فوت (۴/۲۷ متر) به ۹ متر به جهت افزایش کارایی دیوار MSE و بدست آوردن نتایج منطقی مرتبط با پروژه مورد نظر و اطمینان از عدم گسیختگی این دیوار بود. بجز طول ژئوگریدها بقیه پارامترها همان پارامترهای دیوار FHWA در نظر گرفته شدند. همچنین از بکار بردن المان سطح مشترک (Interface) اطراف ژئوگریدها بنا به توصیه نرم افزار اجتناب گردید.

در دیوار پایه مورد نظر سعی گردیده کلیه پارامترهای مورد استفاده در دو دیوار حفظ گردند. تنها تغییر در شکل هندسی مربوط به افزایش طول ژئوگریدها جهت افزایش و بهینه سازی عملکرد آنها می باشد. همچنین با این عمل تاثیر دیوار بالایی یعنی دیوار MSE روی دیوار SNW بهتر قابل مشاهده و تفسیر خواهد بود.

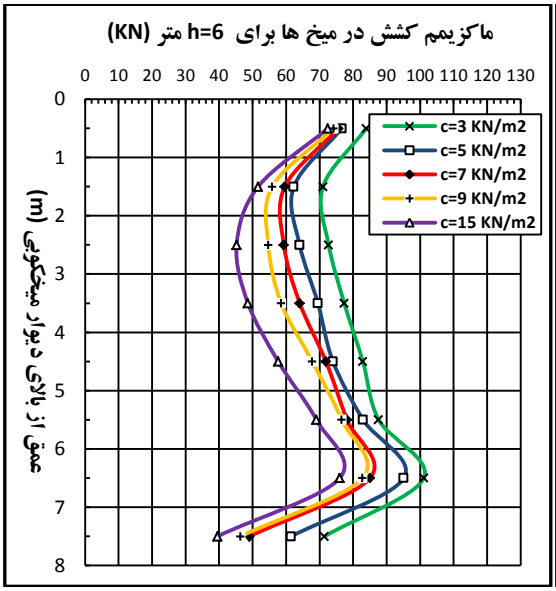
متغیرهای مربوط به سه گروه ۱- متغیرهای مقاومت برشی و مکانیکی خاک ۲- متغیرهای مربوط به دیوار میخکوبی شده و ۳- متغیرهای مربوط به دیوار پایدار شده مکانیکی تقسیم شدند. در هر قسمت تنها متغیر مربوط به همان بخش را تغییر می دهیم و سایر متغیرها را ثابت نگه می داریم. واحد کشش در میخ ها برای کلیه شکل ها کیلو نیوتن می باشد.

۳-۱- متغیرهای مقاومت برشی و مکانیکی خاک

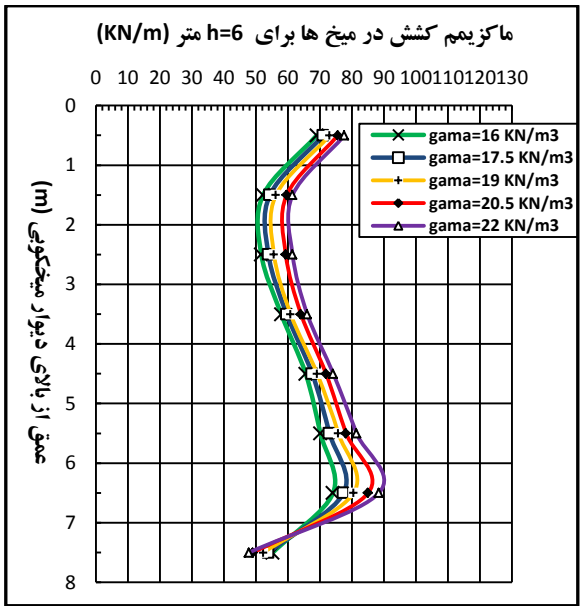
در این بخش به بررسی سه متغیر زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی و وزن مخصوص خاک می پردازیم. در کلیه نمودارهای مورد بررسی ماکزیمم کشش میخ ها در برابر عمق دیوار رسم شده است. شکل های (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) به ترتیب مربوط به تغییرات زاویه اصطکاک داخلی(φ)، مقاومت چسبندگی(c) و وزن مخصوص خاک (γ) می باشد.



شکل(۱۰) متغیر زاویه اصطکاک داخلی خاک



شکل(۱۱) متغیر چسبندگی خاک



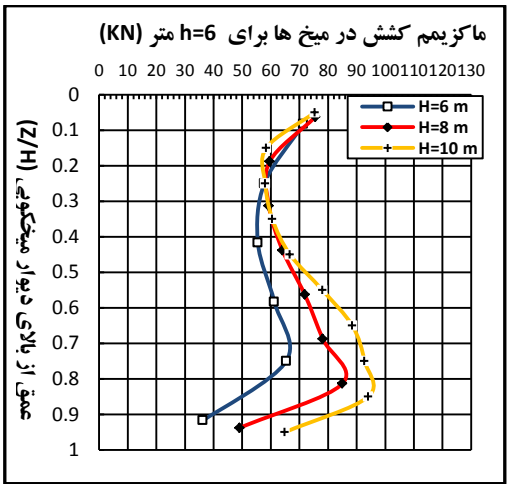
شکل(۱۲) متغیر وزن مخصوص خاک

۳-۲- متغیرهای مربوط به دیوار میخکوبی شده

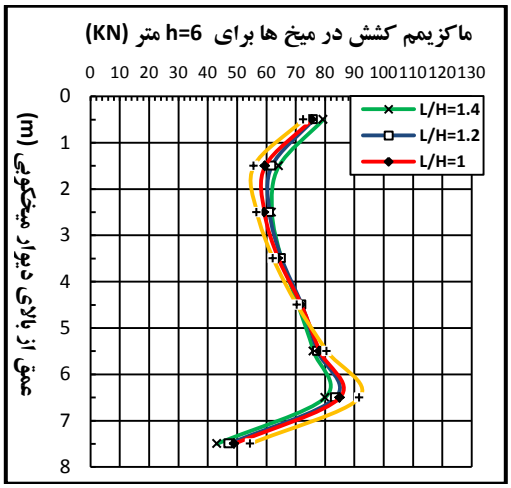
در این بخش به بررسی و تحلیل متغیرهای مربوط به دیوار میخکوبی شده می پردازیم. متغیرهای مورد بررسی در این قسمت عبارتند از: ۱- ارتفاع دیوار میخکوبی شده ۲- نسبت طول به ارتفاع میخ ها ۳- زاویه شیب دیوار میخکوبی شده ۴- نمره میلگردها ۵- زاویه قرار گیری میخ ها درخاک ۶- فاصله بندی افقی میخ ها و ۷- فاصله بندی قائم میخ ها

متغیرهای مورد بررسی به ترتیب نام برده شده در شکل های (۱۳) تا (۱۹) نشان داده شده است.

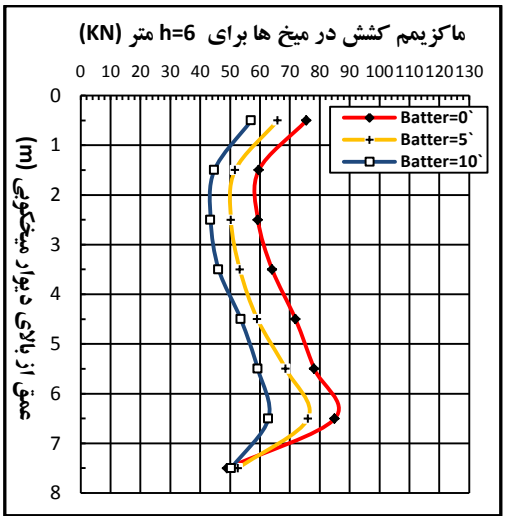
نتایج کلی نیز در بخش ۴ ارائه شده اند.



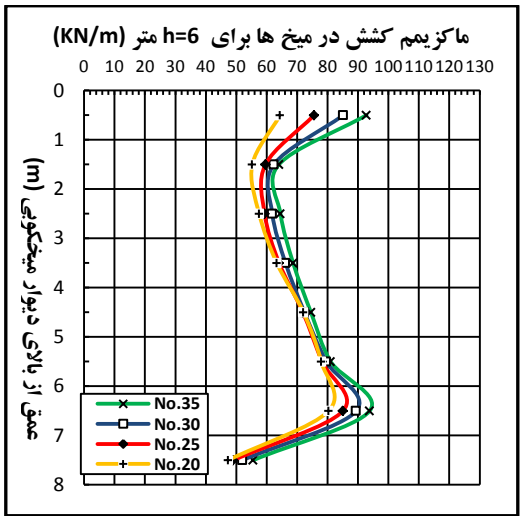
شکل (۱۳) متغیر ارتفاع دیوار میخکوبی شده



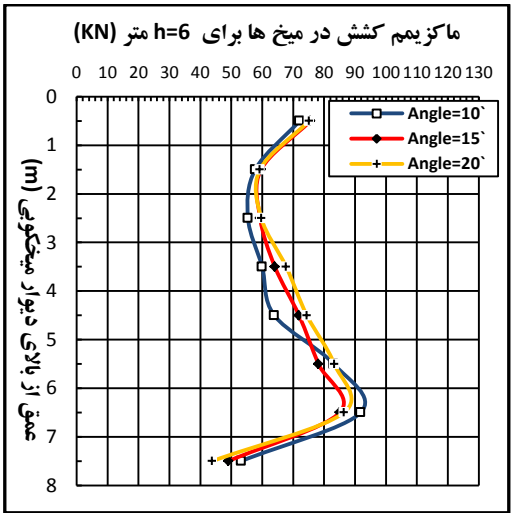
شکل (۱٤) متغیر طول میخ ها



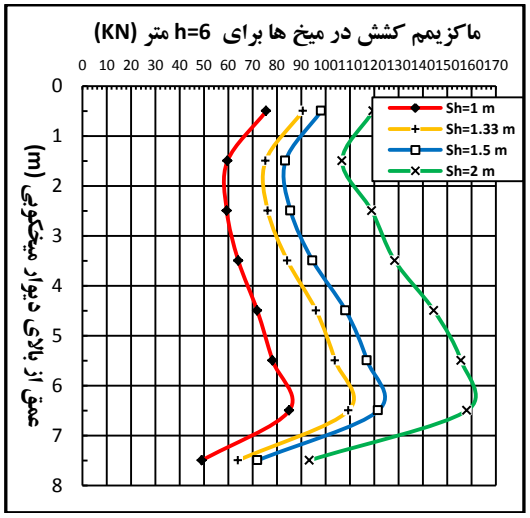
شکل (۱۵) متغیر زاویه شیب دیوار میخکوبی شده



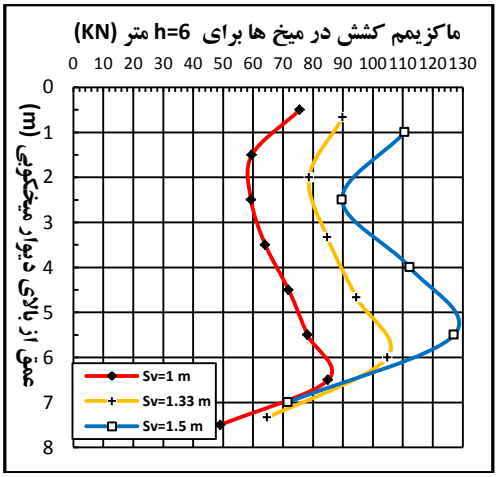
شکل (۱۶) متغیر نمره میلگردها



شکل (۱۷) متغیر زاویه قرار گیری میخ ها در خاک



شکل (۱۸) متغیر فاصله بندی افقی میخ ها

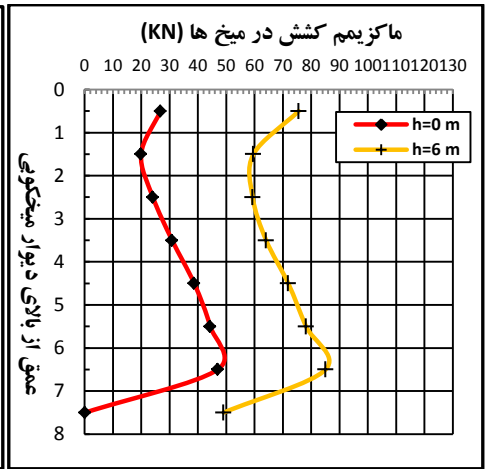


شکل(۱۹) متغیر فاصله بندی قائم میخ ها

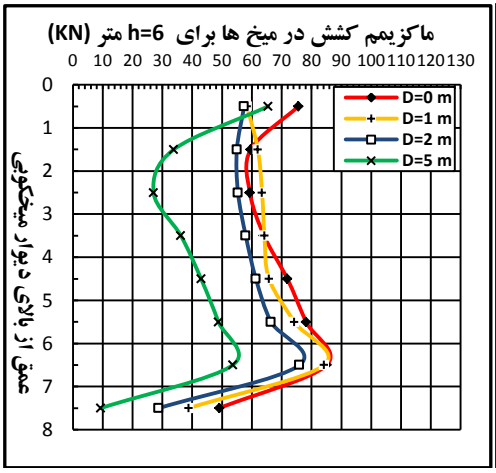
۳-۳- متغیرهای مربوط به دیوار پایدار شده مکانیکی

در این بخش نیز به متغیرهای مربوط به دیوار پایدار شده مکانیکی خواهیم پرداخت که عبارتند از: ۱- طول دیوار MSE ۲- عقب کشی دیوار MSE و ۳- نسبت طول به ارتفاع دیوار پایدار شده مکانیکی که به ترتیب در شکل های (۲۰) تا (۲۲) نشان داده شده اند.

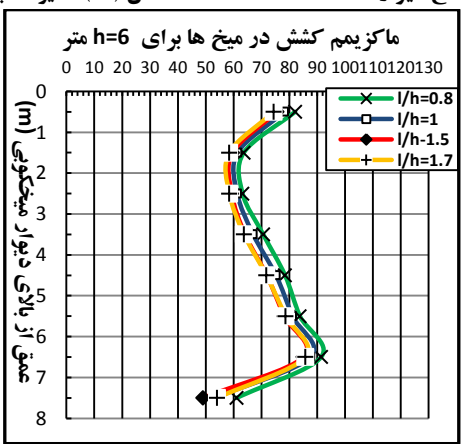
.



شکل (۲۰) متغیر ارتفاع دیوار MSE



شکل (۲۱) متغیر عقب کشی دیوار MSE



شکل (۲۲) متغیر طول مسلح کننده های دیوار MSE

۴- نتیجه گیری

پس از مدلسازی های صورت گرفته خطوط رگرسیون درجه ۳ مربوط به کلیه نمودارهای بدست آمده رسم گردید، سپس در محدوده ارتفاع دیوار MSE از معادلات خطوط بدست آمده انتگرال گیری به عمل آمد و با توجه به افزایش یا کاهش مقادیر انتگرال فوق، درجه حساسیت هر متغیر روی ماکزیمم کشش میخها در ابتدا و انتهای ساخت دیوار MSE (Tmax(0) و Tmax(6)) با چهار درجه نامگذاری گردید.(جدول۱) نحوه درجه بندی با توجه به محدوده انتگرال های بدست آمده بدین شرح می باشد:

****: تاثیر زیاد

***: تاثیر متوسط

**: تاثیر کم

*: بی تاثیر

جدول (۱) درجه بندی تاثیر هر متغیر روی ماکزیمم کشش میخ ها

	پارامتر	Tmax(0)	Tmax(6)
متغیرهای مقاومتی خاک	زاویه اصطکاک - ϕ	****	****
	چسبندگی- C	***	***
	وزن مخصوص - γ	***	**
متغیرهای دیوار میخکوبی شده	ارتفاع دیوار- H	****	***
	طول میخ ها- L	*	*
	شیب دیوار- Batter	***	***
	نمره میلگرد- Bar size	**	**
	زاویه میخ ها- Angle	**	*
	فاصله بندی افقی میخ ها- Sh	****	****
	فاصله بندی قائم میخ ها- Sv	****	****
متغیرهای دیوار MSE	ارتفاع دیوار- h	*	****
	عقب کشی- D	*	***
	طول مسلح کننده ها- l	*	**

و در نهایت با بررسی تک تک نمودارهای رسم شده نتایج بدست آمده بشرح زیر می باشد:

۱- بررسی پارامترهای مقاومتی خاک نشان دهنده این است که با بهبود پارامترهای مقاومتی، خاک سهم بیشتری از نیروهای محرک را جذب (تحمل) می کند. همین امر باعث می شود تا با افزایش پارامترهای مقاومتی برشی، نیروهای کششی در میخ ها و نیروهای برشی و خمشی در رویه کاهش یابند. نقش زاویه اصطکاک داخلی در این مورد بیشتر از چسبندگی و وزن مخصوص خاک بدست آمد.

۲- در کلیه نمودارهای مورد بررسی میخ ماقبل آخر بیشترین کشش را تحمل می کند (در تراز بالا به پایین).

۳-کاهش طول میخ ها باعث کاهش نیروی کششی میخ ها در تراز بالایی و افزایش آنها در میخ های تراز پایین می شود. انتخاب طول مناسب میخ ها برای این دیوارها نیاز به دانستن سطح لغزش احتمالی دارد. افزایش طول میخ ها در مدلسازی فوق روی ماکزیمم کشش میخ ها تاثیر اندکی داشت. این امر نیز ثابت می کند طراحی باید بر اساس سطح لغزش و با طول مناسب صورت گیرد در غیر اینصورت طرح مقرون به صرفه نخواهد بود.

۴- با افزایش نمره میلگردهای مصرفی، نیروی های محرک جذب شده توسط آنها و نیروی کششی میخ ها افزایش اندکی می یابد که این به علت افزایش سطح تماس میخ ها با خاک می باشد. این امر نشان دهنده آن است که افزایش قطر میخ ها همواره نمی تواند عاملی موثر در جهت بهبود وضعیت موجود باشد، بلکه استفاده از میخ های با قطر مناسب و بهینه هم به لحاظ طراحی و هم به لحاظ اقتصادی می تواند مفید باشد.

۵- نتایج بدست آمده از عقب کشی دیوار MSE قابل تعمیم به انواع سرباره دیگر نیز می باشد. در مدل ساخته شده در این پروژه با عقب کشی به میزان حداکثر ۵ متر، از نیروهای کششی وارد به میخ ها به شدت کاسته شد. با انجام مدلسازی های مشابه برای خاک های متفاوت و مدل های هندسی مختلف می توان فاصله ایمن برای دیوارهای میخکوبی شده با جاده های مجاور و بالای آن را پیشنهاد نمود.

۶- تغییرات زاویه میخ ها نسبت به افق تاثیر چندانی در نیروی کششی بوجود آمده در میخ ها ندارد. همبستگی خوبی در رابطه با نیروی کششی میخ ها در این مورد مشاهده نگردید و احتمالا این مورد یکی از نقاط ضعف تحلیل استاتیکی برای این دیوارها می باشد. تنها با استناد به جابجایی های افقی و قائم دیوارها و نیروی وارد بر واحد طول دیوار پیشنهاد می شود از زوایای ۱۰ تا ۲۰ درجه برای این سیستم استفاده شود.

۷- از نکات مهم در طرح دیوارهای مرکب لحاظ کردن شیب دیوار میخکوبی شده می باشد بطوریکه در این پروژه با دادن زاویه ای در حدود ۵ الی ۱۰ درجه از نیروهای وارد بر میخ ها و همچنین جابجایی های دیوار به مقدار قابل توجهی کاسته شد. این امر علاوه بر مقرون به صرفه بودن در طرح این دیوارها می تواند عاملی در جهت زیبایی ظاهری این دیوارها نیز به حساب آید.

۸-کاهش طول ژئوگریدها باعث افزایش اندکی در کشش میخ ها می شود که این می تواند به علت افزایش کلی جابجایی های صورت گرفته در دیوار پایدار شده مکانیکی و تاثیر آن بر لایه زیرین یعنی دیوار میخکوبی شده باشد.

۵- فهرست منابع و مراجع

[1] Carlos A. Lazarte, Ph.D., P.E., Victor Elias, P.E., R. David Espinoza, Ph.D., P.E., Paul J. Sabatini, Ph.D., P.E "GEOTECHNICAL ENGINEERING CIRCULAR NO. 7
Soil Nail Walls" FHWA0-IF-03-017, March 2003

[2] Ryan R. Berg, P.E.; Barry R. Christopher Ph.D., P.E. and Naresh C. Samtani, Ph.D., P.E "Design of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume I" FHWA-NHI-10-024 and FHWA GEC 011-Vol I, FHWA-NHI-10-025 FHWA GEC 011-Vol II, November 2009

[3] Kimberly Finke Morrison, P.E., R.G.; Francis E. Harrison, P.E, James G. Collin, Ph.D., P.E.; Andrew Dodds, Ph.D.; and Ben Arndt, P.E "Shored Mechanically Stabilized Earth (SMSE) Wall Systems Design Guidelines" FHWA-CFL/TD-06-001 February 2006

[4] ABDULRAHMAN ALHABSHI, M.S.C.E ; Requirements for the Degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY "FINITE ELEMENT BASED DESIGN PROCEDURES FOR MSE/SOIL-NAIL HYBRID RETAINING WALL SYSTEMS" December, 2006

[5] Chia-Cheng Fan, Jiun-Hung Luo "Numerical study on the optimum layout of soil–nailed slopes" accepted 4 September 2007

[6] GEOTECHNICAL ENGINEERING OFFICE Civil Engineering and Development Departmen The Government of the Hong Kong Special Administrative Region "GUIDE TO SOIL NAIL DESIGN AND CONSTRUCTION" March 2008

[7] Plaxis 2D Reference Manual version 8 , 2008

[8] Plaxis Bulletin "Mohr-Coulomb Parameters for Modelling of Concrete Structures and Simulation of Soil Nail Structures using PLAXIS 2D" Issue 25 / Spring 2009

[9] Robin Chowdhury, Phil Flentje, Gautam Bhattacharya "Geotechnical Slope Analysis" 2010