



## تحلیل پرده‌جدارهای حائل بتنی با توجه به شرایط مهارهای عرضی

محمدعلی روشن‌ضمیر<sup>۱</sup>، علیرضا رهایی<sup>۲</sup>، مینا اسدیگی<sup>۳</sup>

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی

[mohamali@cc.iut.ac.ir](mailto:mohamali@cc.iut.ac.ir)

### خلاصه

اغلب روشهای موجود تحلیل دیوارهای حائل، با فرض صلبیت این سیستم‌ها توسعه یافته‌اند. پرده‌جدارهای (دیافراگم‌های) بتنی، به علت کم بودن ضخامت نسبت به دو بعد دیگرشان، از اینجه حائل انعطاف‌پذیر محسوب می‌شوند. تحلیل و طراحی این اینجه با روشهای موجود عموماً منجر به نتایج بسیار محافظه‌کارانه می‌گردد. به علاوه اثر فاصله مهارهای جانبی در میزان انعطاف‌پذیری و تاثیر آن در نحوه توزیع نیروهای داخلی پرده‌جدار و نیز مهارهای جانبی موضوعی است که کمتر مورد توجه قرار گرفته‌است. مهار کردن پرده‌جدار در مقاطع عرضی مشخص باعث می‌شود تا توزیع نیروها در تمامی مقاطع یکسان نبوده و رفتار پرده‌جدار از حالت دوبعدی خارج شده و ممکن است فرض کرنش مستوی برای آن چندان معتبر نباشد. لذا در این تحقیق مدلهای متعددی از پرده‌جدار با ارتفاع و ردیفهای مهار مختلف بصورت سه‌بعدی مدل شده‌اند و اثر تغییر فاصله مهارهای جانبی روی تغییرشکلها، نیروهای داخلی پرده‌جدار و مهار بررسی شده‌است. مدلسازی بوسیله نرم‌افزار تفاوت محدود FLAC3D انجام شده‌است. نتایج نشان می‌دهند انعطاف‌پذیری پرده‌جدار و امکان تغییرشکل آن در هنگام نصب مهارها و یا خاکبرداری از جلوی آن تا حدودی از تغییرشکل تاثیر مثبت در کاهش نیروهای داخلی پرده‌جدار دارد و از حدی به بعد منجر به افزایش نیروهای داخلی می‌گردد. بعلاوه فواصل بهینه برای مهارها به لحاظ کمینه کردن نیروهای داخلی کاملاً وابسته به سطحی از تغییرشکل است که برای سیستم مجاز شمرده می‌شود. ولی بطور کلی می‌توان بیان نمود که هرچه تغییرشکلها در محدوده پایینتری قرار گیرند امکان تعیین فواصل بهینه افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: پرده‌جدار بتنی، مهارهای جانبی، تحلیل سه‌بعدی، FLAC3D

### مقدمه

در طرحهای عمرانی معمولاً نیاز به نگهداری جانبی خاک و دیگر مصالح دانه‌ای می‌باشد. دیوارهای حائل سازه‌هایی هستند که از انواع آن در شرایط مختلف می‌توان برای این منظور استفاده کرد. پرده‌جدارهای بتنی به عنوان یکی از اینجه حائل به علت قابلیت اجرا تا ارتفاع حدود ۱۰۰ متر، عدم نیاز به پی و قالببندی سنتی و امکان استفاده در محیطهای محدود شهری به علت اشغال فضای بسیار کم و محدودیت فضای لازم برای اجرا و..... امروزه کاربرد وسیعی دارند. به علت دارا بودن ویژگیهای فوق از پرده‌جدارهای بتنی می‌توان در پروژه‌های متعدد نظیر تونل و تاسیسات زیرزمینی، جداره داکت‌ها، آبنده ساحلی، پرده نفوذناپذیر، حائل ساختمانهای بلند، دیوارهای اسکله‌ها، ایجاد تقاطع غیرهمسطح راهها و.... استفاده کرد.

### پیشینه علمی موضوع

مطالعات انجام گرفته روی عملکرد پرده‌جدارهای بتنی مهار شده در خاک دارای سابقه چندان طولانی نمی‌باشد. در ادامه مختصری از سوابق مطالعات انجام گرفته روی پرده‌جدارهای مهار شده ارائه می‌گردد. در سال ۱۹۶۹ لمب و ویتمن، با انجام تحلیلهای حدی، ضرایبی را برای فشار جانبی خاک در نزدیکی بالای پرده‌جدار صلب با درصدهای متفاوت پیش‌تندگی ارائه نمودند [۱].

در سال ۱۹۸۴ ایسو و کلاف، برای بررسی میزان خطای ناشی از فرض کرنش مستوی دیوار صلب نسبت به حالت واقعی سه‌بعدی، مدلهای عددی شامل پرده‌جدار صلب با سه ردیف مهار را در دو حالت کرنش مستوی و سه‌بعدی تحلیل و مشخص نمودند که فرض کرنش مستوی حدود ۱۵٪ خطا ایجاد میکند. این مقدار با کم شدن فواصل مهارها و صلبیت خاک و افزایش صلبیت پرده‌جدار بتنی، کاهش یافته و به نتایج حاصل از تحلیل واقعی تر سه‌بعدی نزدیک می‌شود [۲].

۱ عضو هیئت علمی دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان

۲ عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



در سال ۱۹۸۰، نتایج آزمایشهای انجام گرفته توسط ایشی‌هارا نشان داد که تحت تاثیر شتاب سینوسی، با افزایش حرکت پرده‌جدار صلب به سمت جلو (دور شدن از خاکریز) ضریب فشار خاک کاهش می‌یابد. در سال ۱۹۸۱ ماتسوزاوا و ماتسومارا نیز با مطالعات خود نشان دادند که با حرکت پرده‌جدار صلب به سمت خاکریز، ضریب فشار خاک افزایش می‌یابد [۳].

در سال ۱۹۸۹ سوسامایی، مطالعات آزمایشگاهی بر روی یک مدل کوچک سپر فلزی با استفاده از میز لرزان انجام و بحث شبیه‌سازی را مورد ارزیابی قرار داد. تئوری این محقق مبتنی بر معادلات ساختاری حاکم بر رفتار ذرات خاک و پرده‌جدار بتنی، رعایت قانون سازگاری و معادلات تعادل، بوده و بر مبنای نتایج حاصل ضرایب متعددی جهت ارتباط مدل واقعی با مدل آزمایشگاهی ارائه شده است [۴].

در سال ۱۹۹۵ هانس وزبری، با انجام مطالعات عددی، تاثیر پارامترهای مختلف بر انعطاف‌پذیری پرده‌جدار را بررسی و نتایج حاصله را با مطالعات تجربی روی یک پرده‌جدار واقعی مقایسه نمود [۵]. در سال ۱۹۹۵ لی و سوگانو نیز با ساخت یک مدل آزمایشگاهی و مقایسه با مدل واقعی، اندرکنش بین خاک و سپر فلزی را با اعمال بار دینامیکی توسط میز لرزان، مورد بررسی قرار دادند و روابطی را برای شبیه‌سازی و آنالیز ابعادی ارائه نمودند [۶]. در این مقاله بخشی از نتایج تحلیلهای عددی سه‌بعدی روی جداره‌های جداکننده با استفاده از نرم‌افزار تفاوت محدود **FLAC3D** بتنی گزارش شده است. مدل‌های متعددی از پرده‌جدار با ارتفاع، ضخامت و ردیف‌های مهار مختلف بصورت سه‌بعدی مدل شده‌اند و اثر تغییر فاصله مهارهای جانبی روی تغییر شکلها، نیروهای داخلی پرده‌جدار و مهار در شرایط خاکریز مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

### مدلسازی عددی

مدلسازی عددی بوسیله نرم‌افزار تفاوت محدود **FLAC3D** انجام شده‌است. از قابلیت‌های این نرم‌افزار وجود مدل‌های متعدد رفتاری برای خاک می‌باشد. بعلاوه وجود انواع المانهای سازه‌ای برای مدل کردن طیف وسیعی از سازه‌های مرتبط با خاک نظیر کابل، شمع و پوسته...، این نرم‌افزار را برای مدلسازی انواع سازه‌های مرتبط با خاک توانمند ساخته‌است. ضمن آنکه وجود المان واسطه (**Interface**) باعث شده‌است تا اندرکنش بین خاک و انواع سازه‌ها بخوبی قابل بررسی و ارزیابی باشد.

انتخاب مدل رفتاری مناسب برای هر کدام از مصالح یکی از مهمترین قسمتهایی است که به هنگام شبیه‌سازی عددی باید توجه کافی به آن صورت گیرد. در غیر اینصورت پاسخهای بدست آمده با واقعیت فاصله زیادی خواهند داشت. مدل الاستوپلاستیک موهر کلمب از جمله متداولترین مدلهایی است که ضمن سادگی، نتایج حاصل از آن نیز با آنچه رفتار و عملکرد خاک سازگاری نسبتاً خوبی نشان داده است. به همین دلیل در تحقیق حاضر مدل رفتاری موهر کلمب برای خاک انتخاب شده‌است. همچنین برای مدلسازی پرده‌جدار و مهارها به ترتیب از المان‌های سازه‌ای پوسته (شل) و کابل استفاده شده است.

المان شل یک المان سه‌گره‌ای مسطح با سه درجه آزادی در هر گره با ضخامت ثابت در تمام سطح خود می‌باشد. رفتار المان شل می‌تواند بصورت همسان یا ناهمسان باشد که در هر دو حالت به صورت الاستیک خطی رفتار می‌کند. المان کابل یک المان محدود دوگره‌ای مستقیم با یک درجه آزادی محوری در هر گره می‌باشد، که سطح مقطع و خواص مصالح در طول کابل بین دوگره ثابت هستند. مصالح المان کابل به صورت کشسان-خمیری رفتار می‌کند که می‌تواند تحت کشش یا فشار جاری شود ولی هیچگونه سختی خمشی ندارد. کابل می‌تواند در طول خود مورد تریز قرار گیرد. به این ترتیب می‌تواند در طول ملات‌ریزی شده با خاک اطراف خود از طریق برش به تبادل نیرو بپردازد. همچنین این امکان وجود دارد که قبل از هرگونه بارگذاری، کابل پیش کشیده شود.

### مشخصات هندسی مدل‌های عددی

مدل‌ها برای دو حالت کلی خاک یعنی خاک دانه‌ای متراکم و خاک دانه‌ای سست و در سه ارتفاع متفاوت ۱۰، ۲۰، و ۳۰ متری که به ترتیب در ۱، ۲، و ۳ ردیف مهار گردیدند، تحلیل شدند. فاصله مهارها در جهت افقی از  $D=1$  تا  $D=5$  متر تغییر می‌کند. هر یک از دیوارها در دو ضخامت مختلف تحلیل شدند تا اثر ضخامت نیز روی رفتار دیوار و فشار جانبی خاک بررسی شود. در هر یک از تحلیل‌ها همواره تمامی پارامترها به جز یک پارامتر، ثابت فرض شده‌اند. پارامترهای متغیر و ثابت در هر یک از تحلیل‌ها در جدول ۱ نشان داده شده‌است.

### خواص مصالح

باتوجه به سیستم سه‌فازه موجود یعنی خاک، دیوار و مهار خواص هر یک به شرح زیر انتخاب شده‌است: همانطور که ذکر شد، خاک دانه‌ای در دو حالت سست و متراکم در وضعیت خاکریز خشک مورد استفاده قرار گرفته‌است. خواص مصالح خاک انتخابی در جدول ۲ نشان داده شده‌است.

دیوار از جنس بتن با مدول الاستیسیته  $22360$  مگاپاسکال و ضریب پواسون  $0.15$  و وزن مخصوص  $24$  کیلونیوتن بر مترمکعب انتخاب شده‌است.

مهارها از نوع کابلهای فولادی با تنش حد جاری شدن معادل  $1880$  MPa و مدول الاستیسیته  $1.05 \times 10^5$  MPa فرض شده‌اند.



جدول ۱ مشخصات مدل‌های عددی

عمق گیرداری (m)	فاصله افقی مهراها (m)	سطح مقطع مهار (cm <sup>2</sup> )	زاویه مهار با افق	طول تزییق (m)	طول مهار (m)	محل مهار از سر دیوار (m)	تعداد ردیف مهار	ضخامت (cm)	ارتفاع دیوار (m)
۳	۱.۲.۳.۴.۵	۱۵	۱۵.۵	۲	۸	۱	۱	۲۰	۱۰
								۳۰	
۵	۱.۲.۳.۴.۵	۲۰	۱۵	۴	۱۰	۵.۱	۲	۳۰	۲۰
								۴۰	
۸	۱.۲.۳.۴.۵	۲۰	۱۵	۴.۵	۱۴.۵	۹.۵.۵.۱	۳	۵۰	۳۰
								۶۰	

جدول ۲- مشخصات مصالح خاک

نوع خاک	$\phi^\circ$	c(MPa)	$\gamma(kN/m^3)$	K(MPa)	G(MPa)
دانه ای متراکم	۳۵	۰	۱۸.۵۰	۱۲۰	۷۲
دانه ای سست	۳۰	۰	۱۵.۷۰	۵۴	۲۵

## بررسی نتایج

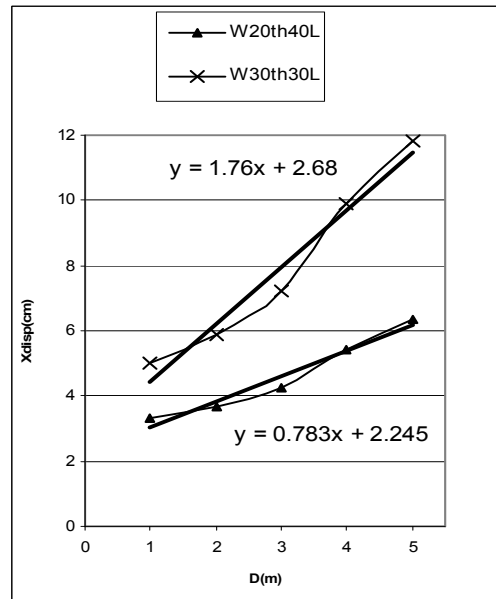
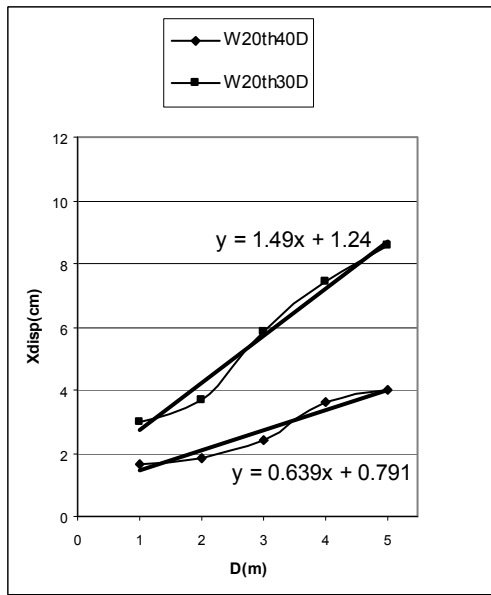
از پارامترهای متعدد نمایانگر رفتار دیوار پارامترهایی که به لحاظ کاربری و سرویس دهی و طراحی سیستم سازه ای دیوار حائز اهمیت هستند، مورد بحث قرار می گیرند.

## تغییرشکل سر دیوار

بر اثر اعمال نیروی پیش کشیدگی به مهراها در هنگام نصب، سردیوار در این مرحله دچار تغییرشکل منفی می شود. با افزایش فاصله مهراها از میزان تغییرشکل منفی سردیوار کاسته می شود. با افزایش عمق خاکبرداری تغییرشکل منفی دیوار کمتر شده به تدریج این تغییرشکل مثبت می شود. با افزایش ضخامت دیوار به علت افزایش صلبیت دیوار از میزان تغییرشکل منفی سر دیوار کاسته می شود. در صورت استفاده از خاک دانه ای متراکم نیز به علت افزایش صلبیت خاک تغییرشکل منفی سر دیوار بعد از اعمال نیروی پیش کشیدگی و قبل از ادامه خاکبرداری کاهش می یابد. اما بعد از تکمیل خاکبرداری به علت آنکه پارامترهای مقاومتی خاک متراکم از خاک سست بیشتر است، دیوار دچار تغییرشکل برگشتی کمتری می شود. به همین دلیل در اغلب مدلها تغییرشکل نهایی سر دیوار در حالت متراکم ممکن است منفی باشد درحالیکه در مورد خاک سست این تغییرشکل مثبت است یا اگر منفی باشد به لحاظ مقدارمطلق کمتر می باشد. به این ترتیب می توان نتیجه گرفت که عامل تعیین کننده در تغییرشکل نهایی، تغییرشکل های دیوار در مرحله خاکبرداری نهایی (بدون نصب مهار) می باشد و تغییرشکل اولیه به هنگام اعمال نیروی پیش کشیدگی چندان تاثیری ندارد. البته هرچه پارامترهای مقاومتی خاک ضعیفتر باشد، اثر خاکبرداری نهایی افزایش می یابد. تغییرشکل های منفی اولیه در حالت خاک متراکم ماندگارتر است.

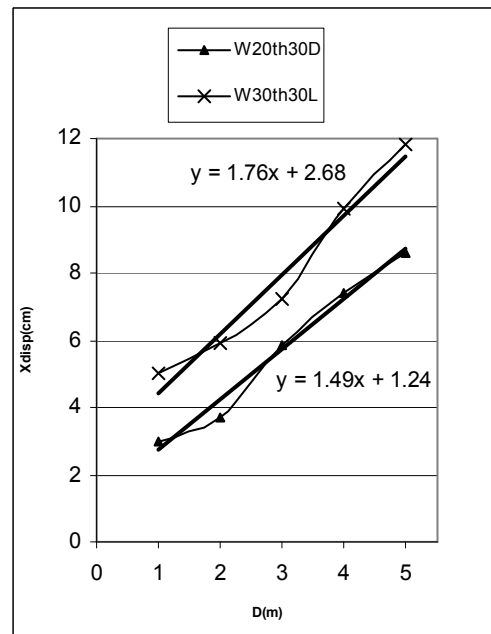
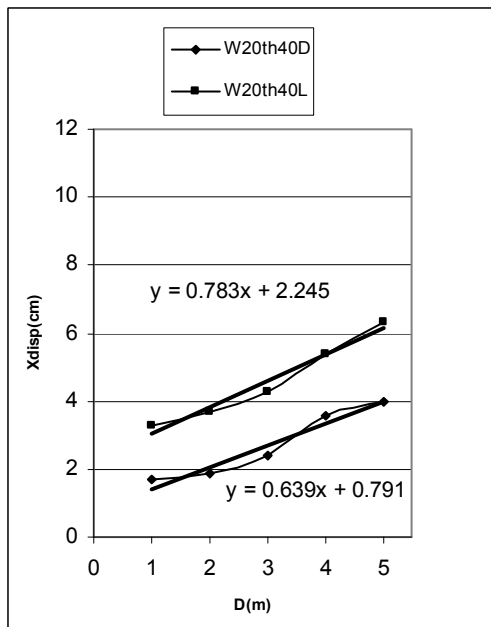
## تغییرشکل حداکثر

در دیوارهای مهارشده برعکس دیوارهای طره ای تغییرشکل ماکزیمم در سر دیوار اتفاق نمی افتد. بلکه در نقطه ای مابین آخرین تراز مهار و تراز خاکبرداری واقع می شود. با افزایش فاصله مهراهای جانبی تغییرشکل حداکثر دیوار افزایش می یابد. در صورت افزایش ضخامت دیوار تغییرشکل حداکثر دیوار کم می شود.



شکل ۱: شیب نمودار تغییرشکل حداکثر برای دو ضخامت ۳۰ و ۴۰ سانتیمتری در خاک دانه‌ای سست و متراکم

همچنین به منظور مقایسه اثر افزایش فاصله مهارها در ضخامتهای مختلف دیوار شیب تغییرات تغییرشکل حداکثر در مقابل فاصله مهارها در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل دیده می‌شود، شیب نمودار در دیوار با ضخامت کمتر بسیار بیشتر از دیوار با ضخامت بیشتر می‌باشد. لذا افزایش فاصله مهارها در دیوار با ضخامتهای پایین می‌بایست با احتیاط بیشتری صورت گیرد. ضمن آنکه افزایش تراکم خاک شیب نمودار را به میزان جزئی کاهش می‌دهد.



شکل ۲: شیب نمودار تغییرشکل حداکثر برای دو حالت خاک سست و متراکم، ۳۰ و ۴۰ سانتیمتر

در صورت استفاده از خاک سست همانطور که قابل پیش‌بینی می‌باشد، تغییرشکل حداکثر افزایش می‌یابد. همچنین در شکل ۲ نمودار مقایسه‌ای روند تغییرشکل حداکثر دیوار در مقابل افزایش فاصله مهارها برای دو حالت خاک متراکم و سست نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که افزایش تراکم خاک روی روند تغییرشکلها تاثیر قابل‌ملاحظه‌ای نمی‌گذارد. بطوریکه با افزایش تراکم خاک شیب نمودار به میزان جزئی کاهش می‌یابد.



## سطح زیر نمودار لنگر خمشی

در این بخش مدل‌های مختلف از یک منظر کلی یعنی سطح زیر نمودار لنگر خمشی که می‌تواند شاخصی از میزان و نحوه آرماتورگذاری باشد مورد مقایسه قرار می‌گیرند. با توجه به مقادیر موجود در جدول ۳ مقدار سطح زیر نمودار لنگر برای خاک متراکم از حالت  $D=1$  به  $D=2$  متر در دیوارهای بلند ۲۰ و ۳۰ متری کاهش می‌یابد. بعد از این حالت روند افزایشی است. ولی در حالت استفاده از خاک سست روند تغییرات مطلقاً افزایشی است. روند تغییرات سطح زیر نمودار لنگر خمشی در دیوارهای کوتاه (حدود ۱۰ متر) با دیوارهای بلند (۲۰ متر و بیشتر) متفاوت است. در دیوار ۱۰ متری همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است سطح زیر نمودار لنگر خمشی با افزایش فاصله مهارها از ۱ متر تا ۴ متر در خاک دانه‌ای سست کاهش می‌یابد و سپس افزایش می‌یابد، ولی در خاک دانه‌ای متراکم تا حدود ۵ متر روند همچنان کاهش می‌یابد. علت این روند کم بودن مقادیر تغییر شکل در دیوارهای کوتاه می‌باشد.

در دیوارهای کوتاه به علت کم بودن مقادیر تغییر شکلها، اثر افزایش تغییر شکل دیوار در کاهش نیروهای داخلی بسیار مشهود است و فرآیند بهینه‌سازی در این مدلها امکان‌پذیر است. ولی در دیوارهای بلند به علت زیاد بودن مقادیر تغییر شکل این امکان کمتر وجود دارد، چراکه این مقادیر از حدودی که اثر مثبت بر کاهش نیروهای داخلی داشته باشد گذر کرده است. بنابراین چنانچه مقادیر تغییر شکلها را در دیوارهای بلند با روشهایی نظیر تقویت پارامترهای مقاومتی خاک، افزایش ضخامت دیوار و یا تقویت سیستم مهاربندی پایین نگهداشته شود، امکان بهینه‌سازی وجود دارد. شاهد این مطلب، روند کاهش سطح زیر نمودار لنگر در دیوارهای بلند واقع در خاک متراکم است.

جدول ۳- مقادیر مقایسه‌ای سطح زیر نمودار لنگر خمشی در دیوار ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متری

فاصله مهارها (m)	W10				W20				W30			
	Loose		Dense		Loose		Dense		Loose		Dense	
	TH20	TH30	TH20	TH30	TH30	TH40	TH30	TH40	TH50	TH60	TH50	TH60
۱	۱۱۵	۱۷۶	۱۰۰*	۱۴۶	۱۲۰	۱۴۱	۱۰۰*	۱۱۹	۱۵۵	۱۸۰	۱۰۰*	۱۲۴
۲	۹۶	۱۳۰	۷۷	۹۴	۱۲۲	۱۴۹	۹۹	۱۱۰	۱۶۷	۱۹۶	۹۹	۱۲۳
۳	۸۷	۱۱۲	۶۱	۷۹	۱۴۰	۱۶۳	۱۱۲	۱۲۲	۱۸۸	۲۰۹	۱۱۳	۱۲۶
۴	۸۲	۱۰۵	۵۹	۷۳	۱۷۴	۲۱۱	۱۵۱	۱۸۰	۲۳۵	۲۶۳	۱۴۱	۱۶۰
۵	۸۴	۱۰۵	۵۸	۷۳	۱۹۸	۲۳۵	۱۶۷	۱۹۲	۲۶۰	۲۸۱	۱۵۷	۱۷۹

\* حالت مرجع

با افزایش ضخامت دیوار، سطح زیر نمودار لنگر افزایش می‌یابد. اثر افزایش ضخامت در خاک دانه‌ای سست، بیشتر از خاک دانه‌ای متراکم می‌باشد در صورت کاهش تراکم خاک، سطح زیر نمودار لنگر افزایش می‌یابد. هرچه ضخامت دیوار بیشتر باشد، کاهش سختی خاک تاثیر بیشتری روی سطح زیر نمودار لنگر می‌گذارد. در بررسی اثر ضخامت، کاهش ضخامت و به تبع آن افزایش تغییر شکل تاثیر مثبت روی کاهش نیروهای داخلی دیوار دارد. بنابراین اگر مقادیر تغییر شکل در ضخامتهای پایین قابل قبول باشد و در بهره‌برداری از سیستم مشکلی ایجاد نکند، استفاده از دیوارهای با ضخامت کمتر هم به لحاظ حجم بتن و هم به لحاظ آرماتورگذاری مقرون به صرفه‌تر است. ولی در بررسی اثر تراکم مشاهده می‌شود که کاهش تراکم خاک و به تبع آن افزایش تغییر شکل، تاثیر منفی روی مقادیر سطح زیر نمودار لنگر دارد که علت آن تکیه بیشتر خاک به دیوار و در نتیجه افزایش بیش از حد مقادیر تغییر شکل می‌باشد. نتیجه آنکه اجازه تغییر شکل در سیستمهای انعطاف‌پذیر تا حدی تاثیر مثبت روی کاهش نیروهای داخلی دیوار دارد و از حدی به بعد می‌تواند تاثیر منفی داشته‌باشد. بنابراین تعیین حالت بهینه کاملاً بستگی به میزانی از تغییر شکل دارد که شرایط ویژه هر پروژه به طراح دیکته می‌کند.

## نیروهای ایجاد شده در مهارهای جانبی

همزمان با افزایش فاصله مهارهای جانبی نیروی مهارهای جانبی افزایش می‌یابد. در ردیف اول در انتقال از حالت  $D=1$  به  $D=2$  متر بیشترین اختلاف معادل ۱۲ تا ۲۵ درصد وجود دارد. ولی در ردیفهای بعدی، بیشترین اختلاف در انتقال از حالت  $D=3$  به  $D=4$  مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت نیروی ایجاد شده در مهارهای ردیف اول افزایش می‌یابند. علت این امر تغییر شکل منفی سردیوار است به این صورت که بعد از پیش کشیدگی دیوار ضخیم‌تر در برابر جابجایی مقاومت بیشتری می‌کند به همین دلیل نیروی پیش کشیدگی مهارها کمتر آزاد می‌شود در نتیجه نیروی باقیمانده برای دیوار



ضخیم‌تر بیشتر است. اما در مهارهای ردیف دوم و سوم وضعیت چنین نیست. در این ردیفها با افزایش ضخامت روند تغییرات نیروی مهارها چندان مشخص نیست. علت این امر آنست که از طرفی با افزایش ضخامت تغییرشکل کم می‌شود و نیروی مهارها کاهش می‌یابد. از سوی دیگر چون فشار خاک پشت دیوار با افزایش ضخامت بیشتر می‌شود، نیروی وارد بر مهارها افزایش می‌یابد. در مقادیر پایین D تغییرشکلها و در مقادیر بالای آن فشار خاک پشت دیوار در روند تغییرات نیروی مهارها تعیین کننده می‌باشد. در صورت استفاده از خاک سست نیروی مهارهای ردیف اول کم می‌شود. علت آن اینست که گوه تزریقی در خاک سست بیشتر حرکت می‌کند و کاهش نیروی پیش‌کشیدگی بیشتر است، در حالیکه جابجایی دیوار در این نقطه به علت کم بودن، در میزان نیروی نهایی مهارها چندان تعیین کننده نیست. نیروی مهارها در ردیف آخر با کاهش تراکم یا سختی خاک افزایش می‌یابد که علت همان تغییرشکل بیشتر در این نقاط است. ملاحظه می‌گردد در مهارهای ردیف دوم و سوم عامل تعیین کننده، جابجایی دیوار است.

#### نتیجه‌گیری

نتایج تحلیلهای عددی توسط نرم‌افزار FLAC3D روی مدلهای متعددی از پرده‌جدار بتنی ارائه گردید. این جدارها با ارتفاعهای انتخابی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ متر، در ضخامت‌های مختلف و مهار شده به ترتیب در ۱، ۲ و ۳ ردیف و در فواصل افقی ۱ تا ۵ متر در دو حالت مختلف از تراکم خاک مدل گردیده و تحلیل شدند. بر مبنای نتایج حاصل از تحلیلهای انجام شده رفتار دیوار هم به لحاظ پارامترهای مربوط به کاربری مانند تغییرشکل و هم به لحاظ پارامترهای مربوط به طراحی مانند نیروهای داخلی دیوار و مهارها مورد بررسی قرار گرفتند. به طور خلاصه می‌توان موارد زیر را نتیجه‌گیری نمود:

- ۱- با افزایش فاصله مهارهای جانبی، تغییرشکل دیوار در تمام نقاط آن افزایش می‌یابد.
- ۲- تغییرشکل‌های منفی سر دیوار در خاک متراکم و در دیوار صلب‌تر ماندگارتر است. شیب نمودار تغییرشکل حداکثر در برابر فاصله مهارهای جانبی در دیوار با ضخامت کمتر و یا دیوار واقع در خاک سست‌تر بیشتر است.
- ۳- با افزایش فاصله مهارهای جانبی، بسته به سطح تغییرشکلها، سطح زیر نمودار لنگر خمشی ممکن است، افزایش و یا کاهش یابد. در سطوح تغییرشکل پایین روند کاهشی بیشتر مشاهده می‌شود.
- ۴- با افزایش ضخامت دیوار و یا کاهش پارامترهای مقاومتی خاک، سطح زیر نمودار لنگر خمشی افزایش می‌یابد.
- ۵- در دیوارهایی که در چند ردیف مهار شده‌اند روند تغییرات نیروی مهارها در مقابل فاصله مهارهای جانبی، تغییر ضخامت و یا تراکم خاک، در ردیف اول با ردیفهای بعدی متفاوت است.

#### مراجع:

- (1) Lamb, P. C., & Whitman R. V., "Design and Performance of Earth Retaining structures", Geotechnical Eng., American Society of Civil Eng., no.25, pp.127-129, 1969.
- (2) Isui, Y., & Clough G. W., "Plane Strain Approximations in Finite Element Analyses of Temporary Walls ", Proc. Biannual. ASCE Geotechnical Conf. Austin, Tx. PP.85-89 Jun 1984
- (3) Matsuzawa H., & Matsumara N., "Wall Movement Modes Dependent Dynamic Active Earth Pressure Analyses", Proc. Third International Con. on Rec. Adv. In Geo. Earth Eng., PP 331-334, 1981
- (4) Susumu. IA., "Similitude for Shaking Table Tests on Soil-Structure-Fluid Model in 1g Gravitational Field", Soil & Foundation, Vol. 29, no.1, PP 105-118, Mar. 1989.
- (5) Vaziri, H., "Numerical Study of Parameters Influencing the Response of Flexible Retaining walls", Technical University of Nova Scotia, Canada, pp.290-310, 1995.
- (6) Lai, S. & Sugano, T., "Soil-Structure Interaction Studies through Shaking Table Test", Earthquake Geotechnical Engineering., Port & harbor Research Institute, Japan, pp.927-941, 1995