

## ارزیابی عملکرد دیوار دیافراگمی مرکب با مهارهای پیش‌تنیده تحت بارگذاری بهره‌برداري (استاتیکی)

محسن مینائی جاوید، علیرضا رهایی\*، ابوالفضل اسلامی

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۲ اردیبهشت ۱۳۹۶  
بازنگری: ۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۶  
پذیرش: ۱ خرداد ۱۳۹۶  
ارائه آنلاین: ۱۱ تیر ۱۳۹۶

### کلمات کلیدی:

دیوار دیافراگمی مرکب  
مهار پیش‌تنیده  
بارگذاری استاتیکی  
مدلسازی عددی  
مطالعه پارامتریک

**چکیده:** سیستم دیوار دیافراگمی مرکب، جهت بهینه‌تر شدن عملکرد دیوار دیافراگمی بتنی ابداع شده است. در این سیستم از ترکیب شمع نگهبان فولادی در داخل دیواره بتنی استفاده می‌شود. یکی از مزایای طراحی مناسب، داشتن دانش و اطلاعات کافی در زمینه رفتار سازه مورد نظر است. به همین علت این نیاز احساس شد تا با مطالعه پارامتریک، رفتار دیوار دیافراگمی مرکب، مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش، با ساخت مدل عددی با استفاده از نرم‌افزار FLAC<sup>2D</sup>، به بررسی عوامل موثر بر رفتار دیوار دیافراگمی مرکب مهار شده در حالت بهره‌برداري پرداخته شده است. از مدل رفتاری دانکن-چنگ اصلاح شده برای مدلسازی رفتار بارگذاری-باربرداری خاک، از المان کابل برای مدلسازی مهار پیش‌تنیده و المان تیر برای مدلسازی پروفیل‌های فولادی استفاده گردید. صحت‌سنجی مدل عددی با استفاده از اطلاعات دیوار حائل ساخته شده توسط لیم<sup>۱</sup> و بریود<sup>۲</sup> در سال ۱۹۹۹ انجام شد. نتایج تحلیل مدل‌ها، به صورت بررسی تغییرات جابجایی دیوار متناسب با تغییرات مشخصات هندسی سازه نگهبان (دیوار دیافراگمی مرکب) استخراج شده است. پارامترهای مورد بررسی شامل سختی شمع نگهبان فولادی، طول آزاد و گیردار مهار پیش‌تنیده، زاویه مهار پیش‌تنیده با افق، فاصله افقی شمع نگهبان فولادی و فاصله ردیف اول مهار از تاج گود است. با مقایسه پارامترهای مختلف مشاهده شد که در حالت بهره‌برداري تغییرات سختی خمشی شمع نگهبان و تغییرات طول ناحیه گیردار مهار به ترتیب بیشترین و کمترین اثر را بر روی ماکزیمم جابجایی افقی دیوار دارد. یافته‌های این پژوهش برای طراحی و درک بهتر رفتار تغییرشکلی دیوار دیافراگمی مرکب با مهار پیش‌تنیده مفید است.

### ۱- مقدمه

دیوارهای دیافراگمی به صورت گسترده در ساخت سازه‌های زیرزمینی و گودبرداری‌های عمیق مورد استفاده هستند. در دیوار دیافراگمی معمولی، طبیعتاً افزایش عمق، باعث افزایش ضخامت دیوار مورد نیاز برای پایداری می‌شود. از طرفی در مناطق پرجمعیت، محدودیت فضای کارگاهی برای پروژه ساختمانی وجود دارد و برای گودبرداری در این مناطق، نیاز به روش‌هایی است که نیاز به فضای پیرامونی کمتری داشته باشند. علاوه بر این، فولاد و بتن یک رابطه مکمل در مهندسی عمران و ساختمان‌سازی دارند و سازه‌های مرکب فولاد-بتن عموماً به ساخت سازه‌های منطقی‌تر (از نظر اقتصادی) کمک می‌کنند. یکی از این سازه‌ها، دیوار دیافراگمی مرکب است که یک سازه نگهبان خوب و از نظر اقتصادی منطقی است و نسبت به دیوار دیافراگمی نیاز به فضای پیرامونی کمتری دارد.

به طور کلی در مورد رفتار گودها در اعماق مختلف با شرایط پیرامونی متفاوت در حالت استاتیکی مطالعاتی انجام شده است. از جمله آنها مواردی است که در زیر آورده شده است.

مولر در سال ۲۰۰۰، در دانشگاه ایلینویز آمریکا با ساخت مدل فیزیکی،

نحوه تغییرشکل سازه پشت‌بنددار را مورد بررسی قرار داد. الگوی تغییرشکل بدین صورت بود که در بالاتر از ردیف اول مهار تغییرشکل‌ها به صورت طره‌ای و در پایین‌تر از مهار به صورت شکم-دادگی و چرخش پاشنه به طرف درون گود بود. همچنین به این نتیجه رسیدند که میزان تغییرشکل بستگی به سختی نسبی دیوار به خاک پشت دارد [۱].

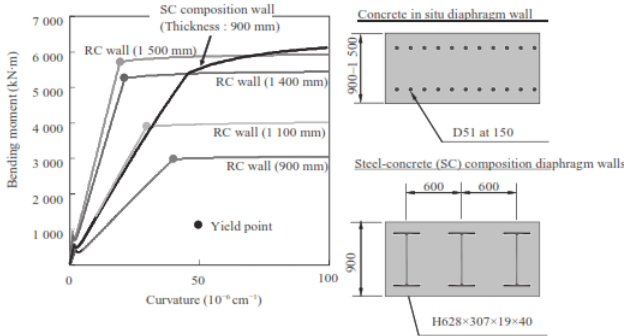
کلا و او رورک در سال ۱۹۹۰، مشاهده نمودند که دیوارهای سخت در کاهش تغییرشکل‌های گود تاثیرگذار خواهند بود. آنها بیان نمودند که کاربرد دیوار دیافراگمی از مشکلاتی همچون بسته شدن حفرت و فرار خاک که منجر به جابجایی‌هایی در خاک خواهد شد، جلوگیری می‌نمایند [۲].

پک در سال ۱۹۶۹ مشاهده نمود که فواصل نزدیک‌تر مهارها، می‌تواند جابجایی گودبرداری را کاهش دهد. لمب (۱۹۷۰)، گلدبرگ (۱۹۷۶)، او رورک (۱۹۸۱) و کلا و او رورک (۱۹۹۰) مشاهدات مشابهی را گزارش نمودند. پک بر این مطلب تاکید نمود که نحوه اجرای مهارها عاملی اساسی در محدود کردن میزان تغییرشکل‌های ناشی از گودبرداری خواهد بود [۷].

هسیه و همکاران در سال ۲۰۱۶، با ساخت مدل عددی و صحت‌سنجی نتایج آن با استفاده از دو مطالعه موردی دیوار دیافراگمی، به مطالعه رفتار

1 Lim  
2 Briaud

\*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: Rahai@aut.ac.ir



شکل ۱: مقایسه نمونه آزمایشگاهی دیوار بتنی مرکب با دیوار بتنی مسلح [۱۶]

Fig. 1. experimental comparison of sample reinforced concrete wall with composite reinforced concrete wall

با توجه به اطلاعات موجود در زمینه عملکرد خوب دیوار دیافراگمی مرکب در حالت بهره‌برداری، همچنین کاهش چشم‌گیر ضخامت نسبت به دیوار دیافراگمی بتن مسلح، نیاز به ارزیابی وسیع‌تر عملکرد این نوع از دیوار احساس شد، تا رفتار تغییرشکلی دیوار دیافراگمی مرکب در حالت بهره‌برداری مورد بررسی قرار بگیرد و با مطالعه و تغییر پارامترهای اثرگذار سازه‌ای، به درک دقیقی از رفتار آن دست یافت. در مقاله حاضر از روش تفاضل محدود و نرم‌افزار FLAC<sup>2D</sup> استفاده شده است و به مدلسازی دیوار دیافراگمی مرکب پرداخته شد. برای شروع مدلسازی صحت‌سنجی مدل عددی با استفاده از داده‌های مطالعه موردی انجام شده توسط لیم و بریود در سال ۱۹۹۹، انجام شد [۱۷]. نتایج حاصل از مطالعه پارامتریک، اطلاعاتی در مورد میزان اثر هر یک از پارامترهای ذیل بر جابجایی افقی دیوار را به دست می‌دهد: سختی شمع نگهبان فولادی، طول آزاد و گیردار مهار پیش‌تنیده، زاویه مهار پیش‌تنیده با افق، فاصله افقی شمع نگهبان فولادی و فاصله ردیف اول مهار از تاج گود.

## ۲- مدل عددی

مدل ساخته شده دو بُعدی و کرنش مسطح است. در این حالت فرض بر این است که مشخصات هندسی وارده در مدل تا بی نهایت ادامه دارد. در نرم‌افزار FLAC<sup>2D</sup> این امکان وجود دارد که فاصله المان شمع و المان مهار را در بُعد سوم مشخص کرد و این موضوع به جواب دقیق‌تر و واقعی‌تر کمک خواهد کرد.

در مدل‌های تفاضل محدود، هرچه مش ساخته شده به مربع نزدیک‌تر باشد، شاهد خطای کمتری در محاسبات خواهیم بود. به همین علت مش مربعی یکسان برای خاک در ترازهای مختلف این مدل انتخاب گردید. با حساسیت‌سنجی ابعاد مش، نتایج حاصله نشان داد که بُعد ۱ متر برای مش مربعی در این مدل مناسب است و در کوتاه‌ترین زمان، جوابی نزدیک به واقعیت را به دست می‌دهد.

تغییرشکلی این نوع از دیوار پرداختند. با استفاده از ساخت زائده خارجی و تبدیل دیوار دیافراگمی به دیوار T شکل (به عبارت دیگر افزایش سختی خمشی دیوار) و با تغییرات نوع خاک و ابعاد دیوار مشاهده شد که تاثیر اصطکاک بین خاک و دیوار دیافراگمی تاثیر بسیار بیشتری نسبت به افزایش سختی دیوار با اضافه کردن دیوار T شکل، در کاهش تغییرشکل دارد. همچنین مشاهده شد که در گودبرداری‌های عمیق تاثیر دیوار T شکل به خوبی دیده می‌شود [۷]. اوو نیز نتایج مشابهی را گزارش نمود [۸].

سورز و همکار در سال ۱۹۶۷ چندین مورد از شکست دیوار را گزارش دادند. آنها نتیجه گرفتند که فشار اضافی خاک، ناکافی بودن میزان جابجایی مجاز در نظر گرفته شده و ضعف در نظر گرفتن میزان اثر محدودیت اجرایی، عوامل اثرگذار بر روی شکست دیوار هستند.

پاتس و همکار در سال ۱۹۸۴ از روش‌های عددی برای یافتن اثر تنش اولیه خاک بر روی ساخت دیوار دیافراگمی در خاک رس بیش‌تحکیم یافته استفاده کردند [۱۰]. پس از آن، بسیاری از روش‌های عددی برای ارزیابی رفتار گودها استفاده شد [۱۱-۱۴].

در سال‌های اخیر، دیوار دیافراگمی مرکب به عنوان یک گزینه مناسب برای گودبرداری‌های عمیق و گودبرداری در خاک‌های مساله‌دار مطرح است. در این سیستم از ترکیب پروفیل‌های فولادی در داخل دیوار بتنی استفاده می‌شود و پروفیل فولادی به نوعی نقش شمع نگهبان را ایفا می‌کند. ساکای و تازاکی در سال ۲۰۰۰، نوعی از دیوار دیافراگمی مرکب را با استفاده از پروفیل‌های فولادی با اتصالات خاص در داخل دیوار بتنی دیافراگمی استفاده کردند. مزیت این نوع از دیوار در این است که پروفیل‌های فولادی باعث افزایش سختی دیوار می‌شوند و در نتیجه آن، حجم مصالح مصرفی کاهش خواهد یافت و از طرف دیگر با افزایش سختی، کاهش تغییرمکان افقی دیوار رخ می‌دهد [۱۵].

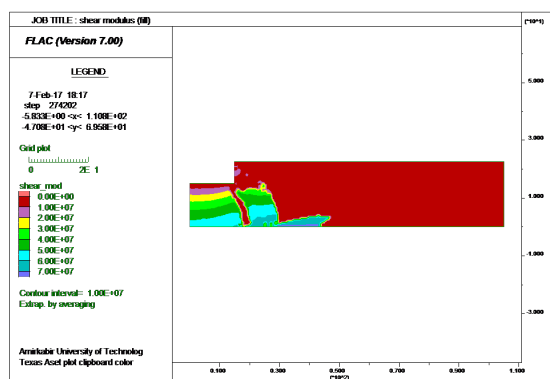
کانیهیکو و همکاران در سال ۲۰۱۱، مدلی دیگر از دیوار دیافراگمی مرکب را ارائه کردند. در این مدل پروفیل‌های فولادی در هنگام نورد در کارخانه، به شکلی خاص نورد می‌شوند تا یک سری زائده در طول محل اتصال بال به جان پروفیل، به منظور بهتر کار کردن فولاد و بتن با هم، ایجاد شود. ایشان یک سری آزمایشات آزمایشگاهی بر روی نمونه‌هایی از دیوار انجام دادند که نتیجه آن به صورت خلاصه در نمودار زیر قابل مشاهده است. در شکل ۱، دیوار مرکب با مشخصات موجود از نظر سختی همچون دیوار بتنی مسلح با ضخامت ۱/۱ متر و از نظر مقاومت همچون دیوار بتنی مسلح با ضخامت ۱/۵ متر عمل می‌کند [۱۶].

## ۲-۲- مشخصات سازه‌ای مدل

به منظور مدلسازی المان‌های سازه‌ای برای شمع‌های نگهدارنده فولادی از المان تیر در نرم‌افزار FLAC و برای مهارهای پیش‌تینده از المان کابل استفاده گردید. مشخصات پارامترهای وارده مطابق با جدول ۱ است. مقدار نیروی قفل شدگی مهار، مقدار مشخص شده در جدول ۱ می‌باشد. در نرم‌افزار FLAC اعمال نیرو به کابل بدین صورت است که نیروی پیش‌تیندی را به مهار وارد کرده و المان مهار را شروع به لغزش در خاک می‌نماید تا در یک نیروی مشخص کمتر از نیروی وارده به تعادل می‌رسد. برای رفع این نقص مدلسازی، یک کد نگارش شد تا با استفاده از یک حلقه، نیرو را به صورت گام به گام در المان مهار افزایش دهد تا همگام با آن لغزش مورد نظر نیز در خاک رخ دهد و این روند تا جایی ادامه یابد که نیروی ایجاد شده در مهار، همان نیروی قفل شدگی در مدل فیزیکی باشد.

## ۲-۳- مشخصات مدل رفتاری خاک

برای شبیه‌سازی خاک محل از مدل رفتاری دانکن-چنگ اصلاح شده استفاده شده است. هدف اصلی استفاده از این مدل رفتاری شبیه‌سازی رفتار باربرداری-بارگذاری در محل گودبرداری و استفاده از مقدار مدول الاستیسیته واقعی خاک با توجه به حالت تنش‌ی خاک (stress state) می‌باشد [۱۹] و [۲۰]. مشخصات خاک طبق جدول ۱ وارد شده است. برای استفاده از مدل دانکن-چنگ، یک کد نگارش گردید، تا با استفاده از یک حلقه، که هر بار پس از ۲۰ گام حل کردن مدل، حالت تنش در خاک و مدول الاستیسیته آن را (بسته به اینکه در حالت بارگذاری باشد یا باربرداری) حساب کرده و به هر المان خاک اعمال نماید، استفاده گردید. علت انتخاب ۲۰ گام کم کردن زمان حل مدل بود و این انتخاب تاثیر چندانی در جواب‌های به دست آمده نداشت. در شکل ۴ توزیع مدول خاک بسته به حالت تنش‌ی خاک در انتهای گودبرداری قابل مشاهده است.



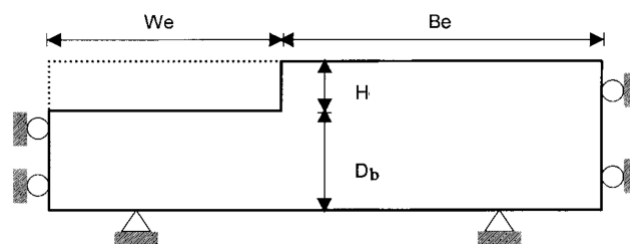
شکل ۴: کانتور مدول در انتهای گودبرداری

Fig. 4. module contour in the last stage of the excavation

همچنین به علت آنکه نتایج ممان و جابجایی گود واقعی، با استفاده از ابعاد گذاری به دست آمده بود، این دو پارامتر ملاک ارزیابی قرار گرفتند.

## ۲-۱- ابعاد مدل

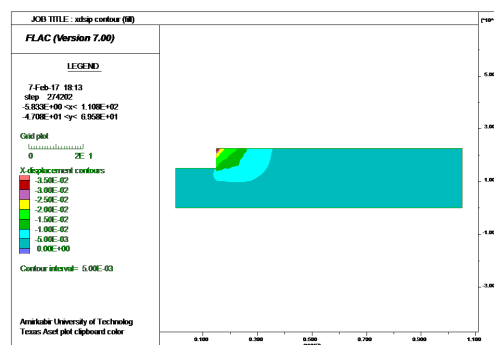
در هر مدل عددی برای کاهش اثر محدودیت‌های ناشی از مرزها و نزدیک کردن جواب‌ها به واقعیت، فواصل مرزها باید به گونه‌ای انتخاب گردد تا به بهترین و نزدیک‌ترین جواب ممکن به واقعیت رسید. بدین منظور با توجه به شکل ۲ و با استفاده از توصیه لیم و بریود در سال ۱۹۹۶ مقادیر  $W_e=3D_b$  و  $B_e=3(H+D_b)$  مورد استفاده قرار گرفت. طبق گزارش آنها، مقادیر  $W_e$  و  $B_e$  تاثیر کمی بر روی جابجایی افقی دیواره دارد، و با مدلسازی‌های انجام شده و مشاهده خطوط جابجایی در مدل،  $W_e=D_b$  مدنظر قرار گرفت. همچنین میزان  $D_b=2H$  برای این مدل مناسب بوده و کمترین تاثیر را بر روی جابجایی افقی و قائم دارد [۱۸]. در مدل ساخته شده برای صحت‌سنجی، مقادیر  $B_e=66$ ،  $D_b=15$ ،  $H=7.5$  m و  $W_e=15$  نظر گرفته شد. کوچکی مقدار  $W_e$  به علت این است که گود مورد نظر واقعیت شکل بوده و فاصله دو وجه روبرو از هم ۱۰ متر می‌باشد.



شکل ۲: تعریف پارامترهای  $W_e$  و  $B_e$  و  $D_b$  در ابعاد مدل

Fig. 2. definition of model's dimensions  $D_b$ ,  $B_e$  and  $W_e$

در شکل ۳ نمونه‌ای از کانتورهای جابجایی در انتهای گودبرداری قابل مشاهده است.



شکل ۳: کانتور جابجایی در انتهای گودبرداری

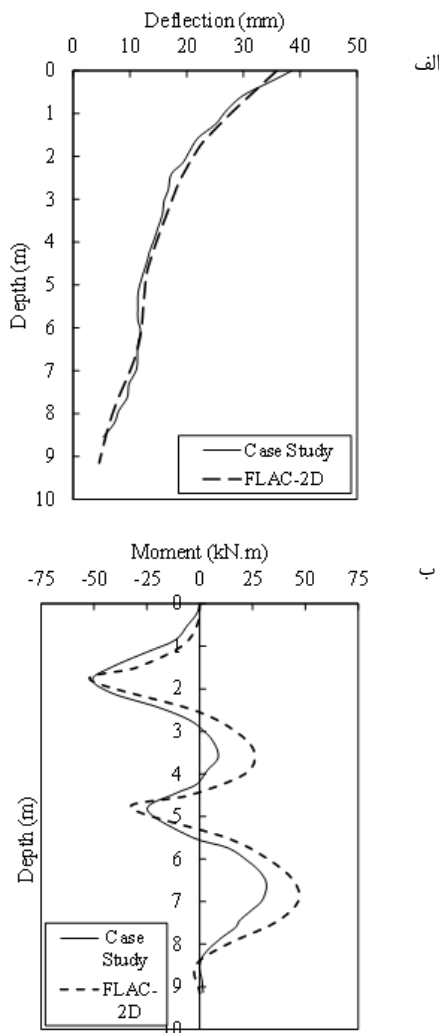
Fig. 3. displacement contour in the last stage of excavation

جدول ۱: مشخصات گود، پارامترهای المان‌های سازه‌ای و مدل رفتاری خاک

Table 1. properties of soil model, structural elements and the excavation model

مشخصات دیوار مربوط به مورد مرجع در مطالعه پارامتری				
مشخصات	تعریف پارامتر	نماد	واحد	مقدار برای دیوار مرجع
گود	فاکتور مدول تانژانت اولیه	KL		۳۰۰
	مولفه (توان) مدول تانژانت اولیه	n		۰/۸۵
	ضریب شکست	Rf	-	۰/۹۳
	زاویه اصطکاک داخلی خاک	$\phi$	degree	۳۲°
	چسبندگی خاک	C	KPa	۱
	مدول باربری-بارگذاری مجدد	Kur		۱۲۰۰
	چگالی خاک	$\gamma$	N/m <sup>3</sup>	۱۸۵۰۰
	نسبت پواسون	v		۰/۳۹
	مدول بالک	Kb	N/m <sup>3</sup>	۲۷۲
	ضریب فشار زمین در حالت سکون	.K		۰/۶۵
	مولفه (توان) مدول بالک	nb		۰/۵
	زاویه انحراف مهار	$\theta$	degree	۳۰
	قطر گمانه	Ddh	mm	۲۰۰
	فاصله اولین ردیف مهار تا سطح زمین	Z0	m	۱/۸
فاصله افقی ردیف های مهار	Sa	m	۲/۴۴	
نیروی قفل شدن مهار ردیف اول		kN	۱۸۲/۳۵	
نیروی قفل شدن مهار ردیف دوم		kN	۰/۱۶۰	
پروفیل شمع نگهبان فولادی	پروفیل شمع نگهبان		-	HP6*۲۵
	فاصله افقی شمع ها	Sp	m	۲/۴۴
	مدول الاستیک شمع نگهبان	E	N/m <sup>2</sup>	۲/۱E+۱۱
	سختی خمشی	EI	N/m <sup>2</sup>	۱/۱۶۲E+۰۷
	سختی محوری	EA	N	۱/۴۷E+۰۹
	عمق نفوذ شمع	he	m	۱/۲۵
ارتفاع گود	H	m	۷/۵	

مورد مقایسه قرار گرفته است. همانطور که قابل مشاهده است، نتایج حاصله نشان‌دهنده دقت خوب مدلسازی است و این مساله ناشی از رعایت توالی اجرایی در مدلسازی است. منظور از توالی اجرایی در این قسمت این است که در مدلسازی انجام شده، توالی اجرایی گودبرداری لحاظ شده است و خاک به صورت یکباره از جلوی دیواره برداشته نشده است. به عبارت دیگر یک کد به صورت Fisch به نرم‌افزار FLAC اضافه شد تا بتواند به صورت مرحله‌ای، و به صورت لایه لایه خاکبرداری نماید و در صورت رسیدن به تراز مهار، به مقدار ۰/۶ متر (مقدار حداقل آئین‌نامه FHWA) پائین‌تر برود و سپس مهار را اجرا نموده و همین روال را ادامه دهد تا به عمق نهایی گودبرداری برسند [۲۱] و [۲۲]. در حالت واقعی داده‌های مورد استفاده نیز، ابتدا دیوار مرکب ساخته شده و سپس مرحله به مرحله خاکبرداری گردیده و مهارها در ترازهای از پیش تعیین شده جایگذاری، تزریق و بارگذاری گردیده‌اند.

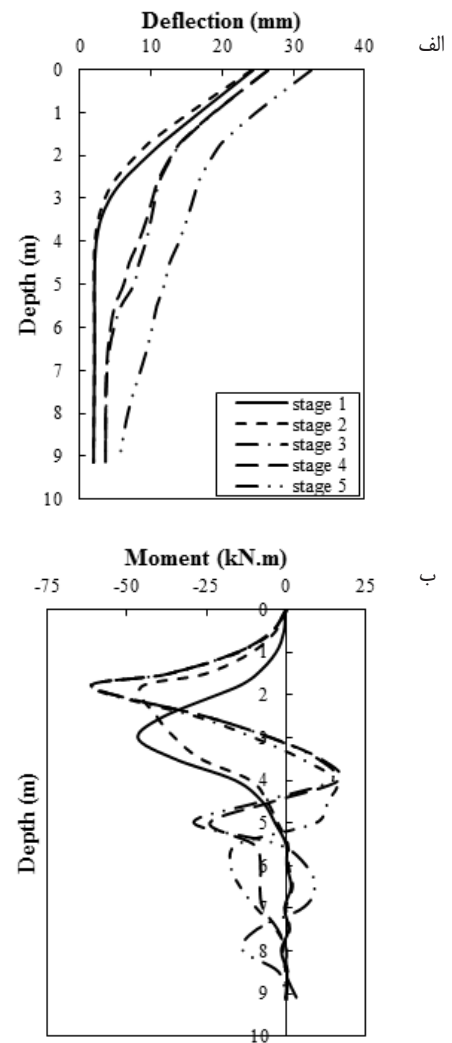


شکل ۶: مقایسه نتایج مدلسازی با مطالعه موردی و صحت‌سنجی الف) جابجایی افقی دیوار ب) لنگر خمشی دیوار

Fig. 6. verification of numerical model by case study, a) horizontal deflection of the wall b) flexural moment of the wall

## ۲-۴- صحت‌سنجی

برای کالیبره کردن مدل عددی ساخته شده از اطلاعات گود تحقیقاتی ساخته شده در دانشگاه TEXAS A&M که نتایج و مشخصات آن توسط لیهم و بریود در سال ۱۹۹۹ منتشر شد، استفاده شد. مشخصات گود مورد نظر نیز در جدول ۱ آمده است. ابتدا نتایج جابجایی و لنگر خمشی حاصل از گودبرداری در ۵ مرحله در شکل ۵ آورده شده است. مرحله اول شامل گودبرداری تا زیر اولین ردیف مهار، مرحله دوم اجرای مهار ردیف اول، مرحله سوم گودبرداری تا تراز زیر ردیف دوم مهار، مرحله چهارم اجرای مهار ردیف دوم و مرحله پنجم گودبرداری تا تراز انتهایی است. نتایج جابجایی افقی دیوار و لنگر خمشی در شمع نگهبان که در مطالعه موردی اندازه گرفته شده است، در گراف شکل ۶ با مقادیر به دست آمده از مدلسازی در نرم‌افزار



شکل ۵: نتایج حاصل از مدل عددی در مراحل مختلف الف) جابجایی افقی دیوار ب) لنگر خمشی دیوار

Fig. 5. numerical model results in different stage of construction, a) horizontal deflection of the wall b) flexural moment of the wall

### ۳- مطالعه پارامتریک

شمع‌هایی که مشخصات آنها در جدول ۲ و ۳ قابل مشاهده است، مدلسازی گردید. این پروفیل‌ها به گونه‌ای انتخاب گردید که میزان سختی خمشی آنها به ترتیب ۰/۵، ۱/۵، ۲ و ۳ برابر مقدار سختی خمشی آن در مدل واقعی باشد. در دیوار دیافراگمی مرکب، پروفیل‌های فولادی نقشی همچون شمع‌نگهبان را ایفا می‌کنند و دیواره بتنی بین آنها به صورت دال یک طرفه عمل می‌کند و اتصال آن به پروفیل فولادی به صورت مفصلی است. در نتیجه صرفاً سختی پروفیل فولادی به عنوان سختی خمشی شمع‌نگهبان در مدل استفاده شد. عمق گیرداری شمع‌های نگهبان ۰/۲ ارتفاع گود در نظر گرفته شد که این مقدار مستخرج از مطالعه موردی است و آنها این مقدار را مناسب‌ترین مقدار عمق گیرداری معرفی نمودند [۱۷].

در این بخش با توجه به مطالعات صورت گرفته، پارامترهایی برای بررسی رفتار این نوع از دیوار انتخاب گردیده و در محدوده معقولی تغییر یافتند تا نتایج تغییرات آنها بر روی تغییر شکل سازه نگهبان مورد نظر، ارزیابی شد. از جمله این پارامترها سختی خمشی شمع نگهبان، طول آزاد و گیردار مهار پیش‌تنیده، زاویه مهار پیش‌تنیده با افق، فاصله افقی شمع نگهبان فولادی و فاصله ردیف اول مهار از تاج گود را می‌توان نام برد. در ادامه نتایج مطالعه هر یک از آنها به تفکیک آمده است.

### ۳-۱- تاثیر سختی خمشی و محوری شمع نگهبان (EA, EI)

برای بررسی تاثیر سختی شمع نگهبان بر روی رفتار استاتیکی، دیوار با

### جدول ۲: مشخصات مقاطع استفاده شده و ضریب تقریبی مقادیر سختی خمشی

Table 2. properties of used steel sections in the models and the ratio of stiffness in comparison to reference model (F.o.S)

مقطع	EI سختی خمشی (N/m <sup>2</sup> )	EA سختی محوری (N)	ضریب سختی (FoS)
W6x25 L2x2x3/16	۱۱۶۲۰۰۰۰	۹/۸۹E+۰۸	۱
W6x20 L3x3x5/16	۵۸۱۰۰۰۰	۱/۴۷E+۰۹	۰/۵
W8x28 L3x3x5/16	۱۷۴۳۰۰۰۰	۱/۶E+۰۹	۱/۵
W10x22 L3x3x5/16	۲۳۲۴۰۰۰۰	۱/۳۵E+۰۹	۲
W12x26 L3x3x5/16	۳۴۸۶۰۰۰۰	۱/۵E+۰۹	۳

L مقطع نبشی است W مقطع H شکل متداول در آمریکاست.

### جدول ۳: پارامترهای موجود در جداول مطالعات پارامتریک

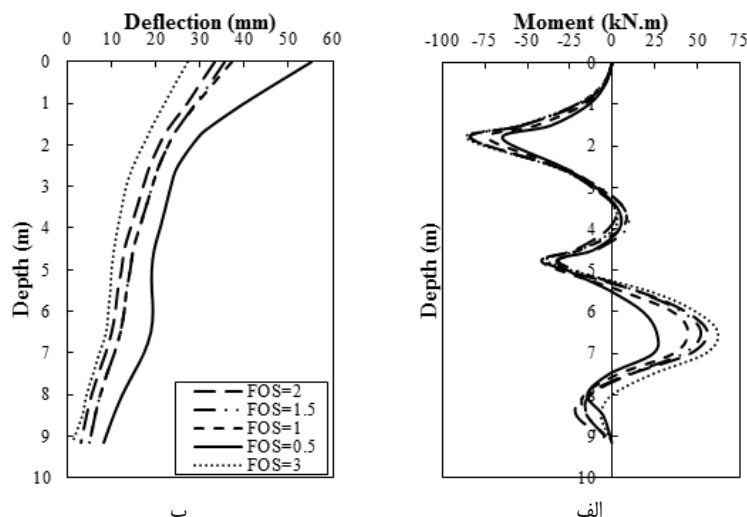
Table 3. definition of parameters which were used in the parametric study

فاصله ردیف اول از تاج گود	Z0
فاصله افقی مهارها	Sa
زاویه افقی مهار	$\theta$
طول گیردار مهار	L(b)
طول آزاد مهار	L(unb)
فاصله افقی شمع نگهبان	Sp
عمق شمع	he
عمق گود	he

جدول ۴: مشخصات مدل‌های ساخته شده با سختی‌های متفاوت و درصد تغییرات جابجایی

Table 4. properties of models with different steel section stiffness and the percentage of deflection variation

تغییر پارامتر طول گیردار مهار															
پارامترهای گود		پارامترهای شمع نگهدار				پارامترهای مهار						پارامترهای خاک		حالت بارگذاری	
میزان جابجایی تاج (mm)	درصد تغییر تغییر مکان تاج	H	he	EA	EI	Sp	L(unb)	L(b)	$\theta$	Sa	Z0	C	$\phi$		
۵۵/۲۳	%+۴۹/۱			#####	۰/۵۸۱e+۷									استاتیکی	
۳۷/۰۴	۰			#####	۱/۱۶۲e+۷										
۳۵/۴۸	%-۴/۲	۷/۱۵	۹/۵	#####	۱/۷۴۳e+۷	۲/۴۴	۵/۰۵	۷/۳	۳۰	۲/۴۴	۱/۸	۱	۳۲		
۳۳/۳۳	%-۱۰			#####	۲/۳۲۴e+۷										
۲۷/۳۳	%-۱۵			#####	۳/۴۸۶e+۷										



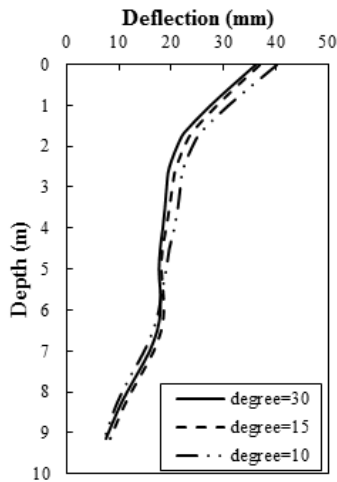
شکل ۷: الف) تغییرات لنگر خمشی شمع نگهدار با تغییر سختی دیوار، ب) نمودار تغییر شکل شمع نگهدار با تغییر سختی دیوار

Fig. 7. a) variation of flexural moment of the wall by variation of Stiffness b) variation of horizontal deflection by variation of stiffness

کاهش می‌یابد. همان‌گونه که در شکل ۷ الف، مشخص است افزایش سختی شمع نگهدار لنگر خمشی دیوار را افزایش می‌دهد. لیم در سال ۱۹۹۶ نیز در بررسی‌های خود نتایج مشابهی را ارائه نمود [۱۸]. او بیان نمود که سختی شمع نگهدار مقادیر جابجایی را کاهش داده و بر روی لنگر خمشی تأثیری ندارد. وی در بررسی خود بر روی سازه‌های نگهدار مهار شده اینگونه مطرح کرد که بررسی تأثیر سختی شمع نگهدار بر روی لنگر خمشی شمع کمی دشوار به نظر می‌رسد و به طور کلی سختی

در صورت افزایش بسیار زیاد سختی خمشی، الگوی تغییر شکل دیواره تغییر کرده و به چرخش حول پاشنه تبدیل می‌گردد. به عبارت دیگر، با بکاربردن شمع با صلبیت بسیار بالا، نیروهای مهار فقط در ناحیه اطراف آن باقی نمی‌ماند بلکه در سطح وسیعی توزیع می‌گردد. به همین علت نیروی مهار نمی‌تواند بصورت موضعی شمع‌ها را عقب نگاه دارد و تغییر شکل تاج دیوار کاهش می‌یابد. که این مساله در شکل ۷-ب، قابل مشاهده می‌باشد. ضمناً با افزایش سختی خمشی شمع، تغییر شکل شمع بصورت شکم‌دادگی

مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۵، با افزایش زاویه مهارها، جابجایی در طول دیوار کاهش می‌یابد. ولی باید به این نکته توجه داشت که برای دیوارهایی با زاویه مهار در محدوده ۱۵-۳۰ درجه، مقدار جابجایی دیوار تغییر چندانی را نشان نداده است. یعنی در محدوده ۰-۱۵ درجه، اثر زاویه بر روی جابجایی افقی دیواره زیاد می‌باشد و پس از آن از میزان تاثیر آن کاسته می‌شود. به علت عوامل اجرایی زاویه مهار را نمی‌توان صفر در نظر گرفت و حداقل ۱۰ درجه زاویه نسبت به افق لازم است و از طرفی هرچه زاویه مهار بیشتر گردد، نیروی محوری ناشی از پیش تنیدگی مهار در دیوار بیشتر می‌گردد و باعث افزایش جابجایی قائم دیوار می‌گردد. پس بهترین زاویه بین ۱۰-۱۵ درجه است. مقادیر جابجایی در جدول ۵ قابل مشاهده است.



شکل ۸: تغییر شکل شمع نگهدارنده با تغییر زاویه مهار

Fig. 8. variation of horizontal deflection of soldier pile by variation of anchor inclination angle

شمع نگهدارنده تاثیر کمی بر روی رفتار دیوار در حالت استاتیکی دارد. همچنین فکادو در سال ۲۰۱۰ نیز در بررسی‌های خود بر روی سازه‌های نگهدارنده دیافراگمی به نتایج مشابهی دست یافت. وی بیان نمود که با تغییر در سختی دیوار مقادیر ماکزیمم جابجایی دیوار کاهش و مقادیر لنگر خمشی افزایش می‌یابد. او همچنین در بررسی‌های خود به این نتیجه رسید که با مقادیر افزایش سختی دیوار، حدی دارد و تا جایی مقادیر ماکزیمم جابجایی‌های افقی کاهش می‌یابد و پس از آن افزایش سختی خمشی تاثیر چندانی بر کاهش تغییر شکل‌ها نخواهد داشت [۲۳].

به طور کلی ماکزیمم لنگر خمشی در دیوار با افزایش سختی دیوار افزایش می‌یابد، اما مقادیر جابجایی افقی دیوار کاهش می‌یابد. به بیان دیگر یک دیوار با سختی بیشتر، لنگر خمشی بیشتری را ایجاد می‌کند، ولی در عین حال مقادیر جابجایی‌ها را تا جایی کاهش می‌دهد. از این رو استفاده از دیوار با سختی بیشتر مناسب نمی‌باشد. فکادو در سال ۲۰۱۰ در بررسی‌های خود اینگونه بیان نمود که افزایش سختی دیوار بیشتر از یک مقدار ماکزیمم خاصی مناسب نمی‌باشد [۲۳]. افزایش سختی خمشی یعنی افزایش ابعاد مقطع و افزایش هزینه پروژه و همچنین افزایش سختی باعث جذب نیروی بیشتر و نیاز دوباره به افزایش سختی است. پس تا آنجا که ممکن است و جابجایی دیوار در محدوده مجاز باقی می‌ماند بهتر است که سختی خمشی را کاهش داد.

### ۳-۲- تاثیر زاویه مهار

نیروی محوری در مهارها تا حدود زیادی به زاویه‌ای که مهار با سطح لغزش می‌سازد مرتبط است. بر همین اساس، مهارگذاری با زوایای گوناگون مطابق جدول ۵ مدلسازی گردید و مناسب‌ترین زاویه مهار، برای یک دیوار کاملاً قائم و براساس تغییر شکل‌های به دست آمده محاسبه گردید.

### جدول ۵: درصد تغییرات جابجایی در زاویه مهارهای مختلف

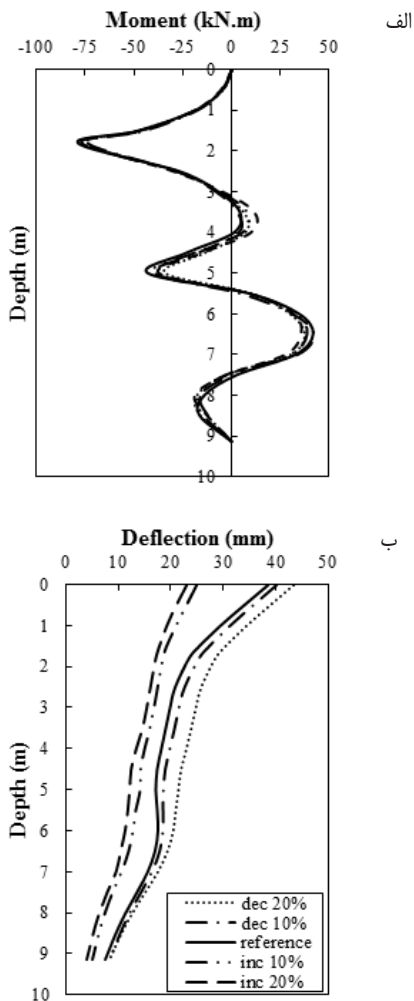
Table 5. percentage of deflection variation in different angle of inclination of anchors

تغییر پارامتر طول گیردار مهار													
پارامترهای گود		پارامترهای شمع نگهدارنده				پارامترهای مهار				پارامترهای خاک		حالت بارگذاری	
میزان جابجایی تاج (mm)	درصد تغییر مکان تاج	H	he	EA	EI	Sp	L( unb)	L(b)	$\theta$	Sa	Z0	C	$\phi$
۴۰/۱۱	٪+۹									۱۰	۱/۸		
۳۶/۱۳	٪+۱/۹	۷/۱۵	۹/۵	۱/۴۷E+۰۹	۱/۱۶۲E+۰۷	۲/۴۴	۵/۰۵	۷/۳	۱۵	۲/۴۴	۱/۸	۱	۳۲
۳۶/۸۷	.									۳۰	۱/۸		

استاتیکی



می‌گردد. در عین حال مقادیر جابجایی ماکزیمم در طول دیوار با افزایش طول آزاد مهار کاهش می‌یابد که این مساله مقادیر جابجایی در جدول ۶ آورده شده است.



شکل ۱۰: الف) نمودار تغییر شکل شمع نگهبان با تغییر طول آزاد مهار، ب) تغییرات ممان خمشی شمع نگهبان با تغییر طول آزاد مهار

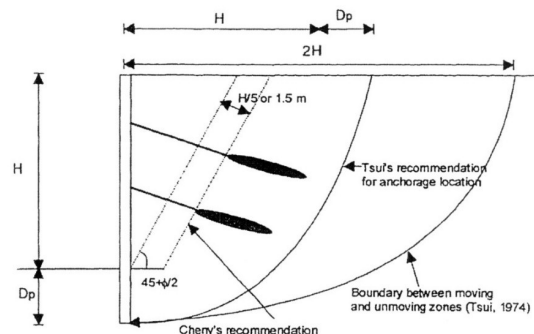
Fig. 10. a) variation of horizontal deflection by variation of un-bond anchors' length b) variation of flexural moment of the wall by variation of un-bond anchors' length

لیم در سال ۱۹۹۶ نیز در مطالعات خود برای بررسی تاثیر پارامتر طول آزاد مهار به نتایج مشابهی دست یافت. او در بررسی خود، نشان داد که طول آزاد مهار تاثیر زیادی بر روی تغییر شکل در بالای دیوار دارد و برعکس، بر روی تغییر شکل در پایین دیوار تاثیر چندانی نمی‌گذارد. او همچنین مطرح نمود که افزایش طول آزاد مهار ردیف اول تاثیر بیشتری بر روی کاهش تغییر شکل‌های دیوار نسبت به افزایش طول آزاد مهارهای پایینی دارد. ضمناً

مطابق شکل ۸ و میزان جابجایی مطرح شده در جدول ۵ قابل مشاهده است که ماکزیمم مقدار جابجایی افقی دیوار با افزایش زاویه مهارگذاری کاهش می‌یابد.

### ۳-۳- تاثیر طول ناحیه آزاد مهار

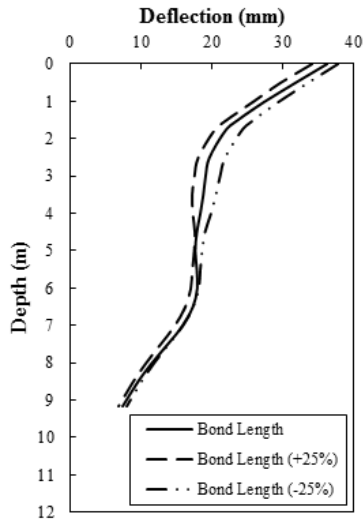
فرض ساده شده برای سطح شکست، مطابق صفحه‌ی شکست نشان داده شده در شکل ۶ می‌باشد. طول ناحیه‌ی آزاد (مهار نشده) مهار باید فراتر از سطح شکست باشد. چنی در سال ۱۹۹۸ فرض کرد که صفحه‌ی گسیختگی، صفحه‌ای با زاویه می‌باشد و پیشنهاد کرد که طول ناحیه‌ی آزاد مهار باید بیشتر از سطح گسیختگی بعلاوه‌ی ۱/۵ متر یا ارتفاع دیوار تقسیم بر ۵، هر کدام که بیشتر شده باشد [۲۴]. این روش یک شیوه‌ی رایج برای بدست آوردن طول آزاد مهار است که در شکل ۹ نشان داده شده است. زمانی که طول ناحیه‌ی گیردار مهار در گوه‌ی گسیختگی قرار بگیرد و یا خیلی نزدیک به سطح گسیختگی باشد، ممکن است بارهای مهار در پایداری دیوار تاثیرگذار نباشد. تسویی در سال ۱۹۷۴ پیشنهاد کرد که در آنالیزهای المان محدود دو بعدی، طول گیردار مهار باید پشت کمان دایره‌ای به مرکز تاج دیوار و شعاعی مساوی با ارتفاع دیوار باشد [۲۵]. این حالت در شکل ۹ نمایش داده شده است. در این تحقیق برای بررسی تاثیر طول آزاد مهار، مطابق جدول ۶ طول آزاد مهارها به اندازه ۱۰٪ و ۲۰٪ طول آزاد مهار مدل مرجع کاهش داده شد و به اندازه ۱۰٪، ۲۰٪ افزایش داده شد.



شکل ۹: مکان طول گیردار مهار پیشنهاد شده توسط [۲۴]، [۲۵]

Fig. 9. proposed location of bond length of the anchors

جابجایی دیوار برای طول‌های مختلف آزاد مهار در شکل ۱۰ نشان داده شده و میزان آن در جدول ۱۱ آورده شده است. همان‌گونه که در شکل ۱۰ الف مشخص است، طول آزاد تاثیر بسزایی بر تغییر شکل قسمت بالای دیوار دارد. لازم به ذکر است که طول آزاد مهار تاثیری بر روی تغییر شکل پایین دیوار ندارد. همچنین با افزایش طول آزاد مهار مقادیر تغییر شکل‌های دیوار کوچکتر شده و با کاهش طول آزاد مهار، مود چرخشی حرکت دیوار بیشتر



شکل ۱۱: نمودار تغییر شکل شمع نگهدارنده با تغییر طول گیردار مهار

Fig. 11. variation of horizontal deflection of soldier pile by variation of anchors' bond length

همان‌گونه که در بخش قبلی مطرح شد باید به این نکته توجه نمود که با افزایش طول مهار، سختی مهار کاهش نیابد، چون در غیر این صورت با افزایش طول آزاد، مقادیر جابجایی دیوار به علت کاهش سختی مهار، کاهش خواهد یافت. نکته‌ای که در اینجا قابل مشاهده است این است که افزایش طول گیردار مهار نسبت به کاهش آن اثر بیشتری بر روی ماکزیمم جابجایی‌ها داشته است.

باید به این نکته توجه داشت که افزایش طول آزاد مهار همیشه سبب کاهش جابجایی‌ها نخواهد شد. و ممکن است از طولی به بعد مقادیر جابجایی‌ها بیشتر گردد و یا نرخ تغییرات جابجایی خیلی ناچیز گردد و علت این مساله آن است که با افزایش طول مهار، طبق رابطه  $EA/L$  که معرف سختی مهار می‌باشد، سختی مهار کاهش یافته و به دنبال آن مقادیر جابجایی افزایش خواهد یافت. همچنین مشاهده می‌شود که افزایش طول آزاد مهار تاثیر بیشتری نسبت به کاهش آن بر جابجایی‌ها دارد.

تاثیر طول آزاد بر لنگر خمشی شمع نگهدارنده، در مرحله‌ی نهایی خاکبرداری در شکل ۱۰-ب، نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است، طول آزاد تاثیر کمی بر روی توزیع لنگر خمشی دارد. لنگر خمشی در محل قرارگیری مهارها افزایش می‌یابد و سپس بتدریج کاهش می‌یابد. به طور کلی، افزایش طول آزاد مهار تا حدی که سبب کاهش و از دست دادن سختی مهار نگردد، مناسب بوده و مقادیر جابجایی‌ها را کاهش می‌دهد.

### ۳-۴- تاثیر طول ناحیه گیردار مهار

در این بخش مقدار طول گیردار مهار به یکی میزان ثابت در حدود ۲۵٪ طول گیردار مدل اولیه افزایش و کاهش داده شد و نتایج تحلیل عددی برای هر یک آورده شد. تاثیر طول ناحیه گیردار بر روی جابجایی دیوار مشابه مطالب مطرح شده در قسمت قبلی بوده و همان‌گونه که در شکل ۱۱، نشان داده شده است. مقادیر جابجایی در پایین دیوار به مقدار ناچیزی تغییر کرده، ولی جابجایی تاج با افزایش طول گیردار کاهش می‌یابد، اما این جابجایی بسیار ناچیز می‌باشد. میزان جابجایی‌ها به تفکیک در جدول ۷ قابل مشاهده است.

### جدول ۶: درصد تغییر جابجایی ماکزیمم در طول آزاد مهارهای مختلف

Table 6. percentage of maximum deflection of the wall variation in different un-bond length of the anchors

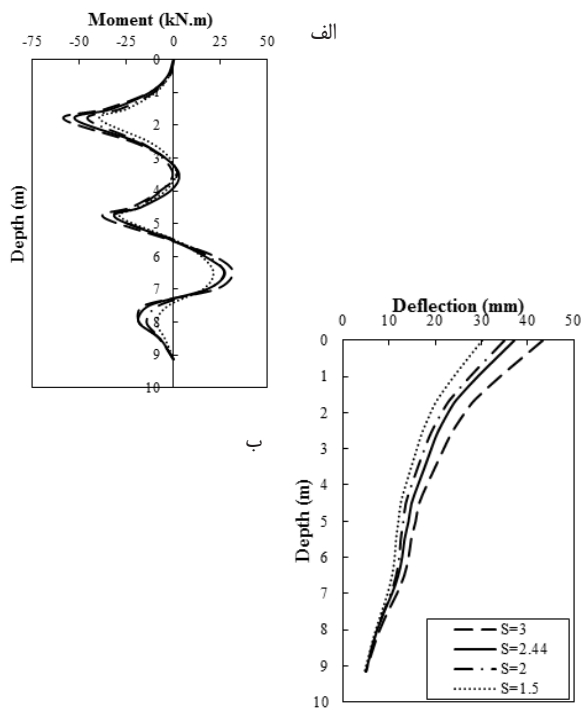
تغییر پارامتر طول گیردار مهار														
پارامترهای گود		پارامترهای شمع نگهدارنده				پارامترهای مهار				پارامترهای خاک				حالت بارگذاری
میزان جابجایی تاج (mm)	درصد تغییر مکان تاج	H	he	EA	EI	Sp	L(unb)	L(b)	$\theta$	Sa	Z0	C	$\phi$	
۴۳/۸۴	%+۱۲/۸						۵/۰۵ (-٪۲۰)							استاتیکی
۴۰/۱۸	%+۴/۳						۵/۰۵ (-٪۱۰)							
۳۶/۸۷	۰	۷/۱۵	۹/۵	۱/۴۷E+۰۹	۱/۱۶۲E+۰۷	۲/۴۴	۵/۰۵	۷/۳	۳۲	۲/۴۴	۱/۸	۱	۳۲	
۲۵	%-۳۵						۵/۰۵ (+٪۱۰)							
۲۳	%۴۰-/۳						۵/۰۵ (+٪۲۰)							

جدول ۷: درصد تغییر جابجایی ماکزیمم در طول گیردار مهارهای مختلف

Table 7. percentage of maximum deflection of the wall variation in different bond length of the anchors

پارامترهای گود		پارامترهای شمع نگهبان					پارامترهای مهار					پارامترهای خاک		حالت بارگذاری
میزان درصد تغییر جابجایی تاج (mm)	H	he	EA	EI	Sp	L( unb)	L(b)	$\theta$	Sa	Z0	C	$\phi$	استاتیکی	
۳۶/۸۷	۰						۷/۳		۱/۸					
۳۸/۹۱	%-۸	۷/۱۵	۹/۵	۱/۴۷E+۰۹	۱/۱۶۲E+۰۷	۲/۴۴	۵/۰۵	۷/۳ (+%۲۵)	۳۰	۲/۴۴	۱/۸	۱	۳۲	
۳۷/۷۱	%+۳/۲							۷/۳ (-%۲۵)			۱/۸			

به کمترین میزان تغییر مکان می‌انجامد و همچنین میزان لنگر خمشی را ۲۵ درصد کاهش می‌دهد. نتایج نشان داد که محل ردیف‌های مهار تأثیری بر نیروی پایین کشش (بخشی از نیروی مهار که به صورت قائم به دیوار وارد شده و باعث افزایش جابجایی قائم دیوار می‌گردد) دیوار ندارد [۱۷].



شکل ۱۲: الف) تغییرات ممان خمشی شمع نگهبان با تغییر فواصل افقی شمع نگهبان و مهارها، ب) نمودار جابجایی شمع نگهبان با تغییر فواصل افقی شمع نگهبان و مهارها

Fig. 12. a) variation of flexural moment of the wall by variation of soldiers' spacing b) variation of horizontal deflection by variation of soldiers' spacing

۳-۵- تاثیر فاصله افقی شمع نگهبان

به منظور بررسی تاثیر فواصل افقی شمع‌ها بر میزان جابجایی افقی دیوار، دیوار با شمع‌هایی به فواصل ۱/۵، ۲، ۲/۴۴ و ۳ متر در نرم‌افزار FLAC<sup>2D</sup> مدلسازی گردید. همانطور که در شکل ۱۲-الف، مشاهده می‌شود با افزایش فواصل شمع‌ها، میزان جابجایی دیوار نیز افزایش می‌یابد. با افزایش فواصل افقی شمع‌ها مقدار لنگر خمشی شمع افزایش می‌یابد. که این مساله در شکل ۱۲-ب، نمایش داده شده است.

همانگونه که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، با کاهش فواصل دیوارها از حد معینی، تغییر محسوسی در مقادیر جابجایی و لنگر خمشی مشاهده نمی‌شود. لذا کاهش فواصل شمع‌ها به منظور محدود کردن تغییر مکان‌ها از یک حدی بیشتر، مقرون به صرفه نمی‌باشد. فکادو در سال ۲۰۱۰ نیز در بررسی‌های خود به نتایج مشابهی دست یافت. جدول ۸، درصد تغییرات جابجایی تاج گود و میزان آن را در فواصل مختلف شمع نگهبان را نشان می‌دهد [۲۳].

۳-۶- تاثیر فاصله ردیف اول مهار از تاج گود

به منظور بررسی تاثیر فاصله اولین ردیف مهار، مدل‌های مختلفی با زاویه مهار و طول ناحیه گیردار مهار مختلف مطابق جدول ۹ و ۱۰ مدلسازی گردید. مقادیر در نظر گرفته شده برای فاصله اولین ردیف مهار به صورتی است که بیشترین طول متعلق به مدل اولیه است و کمترین مقدار هم به گونه‌ای انتخاب شد تا تغییر مکان تاج گود منفی نگردد و در حدود صفر به دست آید. در ادامه جدول متشکل از مشخصات مدل‌های ساخته شده آورده شده است (جدول ۹ و ۱۰).

لیم و بریادو در سال ۱۹۹۹ با استفاده از نرم‌افزار المان محدود آباکوس به بررسی فاصله ردیف اول مهار در گود تحقیقاتی TEXAS A&M پرداختند. فاصله ردیف اول مهار را از تاج گود در بین محدوده ۱/۸-۰/۶ متر تغییر یافت و مشاهده شد که بهترین فاصله مهار از بالای گود ۱/۲ متر است که

جدول ۸ : درصد تغییرات جابجایی در فواصل مختلف شمع نگهبان و مهار

Table 8. percentage of deflection of the wall variation in different soldiers' spacing

تغییر پارامتر طول گیردار مهار														
پارامترهای گود		پارامترهای شمع نگهبان				پارامترهای مهار					پارامترهای خاک		حالت بارگذاری	
میزان جابجایی تاج (mm)	درصد تغییر تغییر مکان تاج	H	he	EA	EI	Sp	L( unb)	L(b)	$\theta$	Sa	Z0	C	$\phi$	
۳۰/۲۱	%-۱۸/۴					۱/۵				۱/۵				استاتیکی
۳۴/۹۵	%-۶/۵	۷/۱۵	۹/۵	۱/۴۷E+۰۹	۱/۱۶۲E+۰۷	۲	۵/۰۵	۷/۳	۳۰	۲	۱/۸	۱	۳۲	
۳۶/۷۴	۰					۲/۴۴				۲/۴۴				
۴۳/۲۳	%+۱۶/۷					۳				۳				

جدول ۹ : تغییرات فاصله ردیف اول مهار به همراه تغییرات زاویه مهار

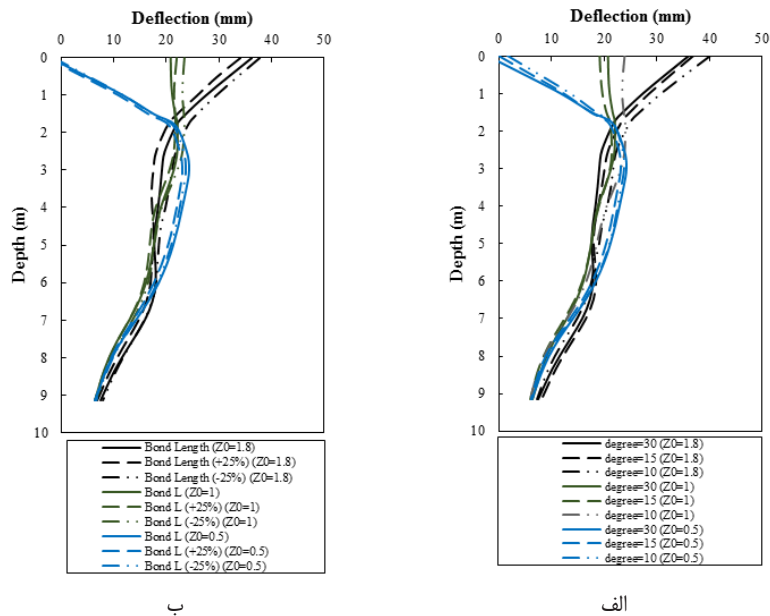
Table 9. percentage of deflection of the wall variation in different first raw anchor's level and different angle of inclination of anchors

تغییر پارامتر طول گیردار مهار														
پارامترهای گود		پارامترهای شمع نگهبان				پارامترهای مهار					پارامترهای خاک		حالت بارگذاری	
میزان جابجایی تاج (mm)	درصد تغییر تغییر مکان تاج	H	he	EA	EI	Sp	L( unb)	L(b)	$\theta$	Sa	Z0	C	$\phi$	
۱/۶۶	%-۹۵/۵									۱۰	۰/۵			
۲۳/۷۹	%-۳۵/۵									۱۰	۱			
۴۰/۱۱	%+۹									۱۰	۱/۸			استاتیکی
۰/۱۱	%-۱۰۰									۱۵	۰/۵			
۱۹/۱۱	%-۴۸/۲	۷/۱۵	۹/۵	۱/۴۷E+۰۹	۱/۱۶۲E+۰۷	۲/۴۴	۵/۰۵	۷/۳	۱۵	۲/۴۴	۱	۱	۳۲	
۳۶/۱۳	%+۱/۹									۱۵	۱/۸			
۲/۰۵	%-۹۴/۴									۳۰	۰/۵			
۲۰/۸۴	%-۴۳/۴									۳۰	۱			
۳۶/۸۷	۰									۳۰	۱/۸			

جدول ۱۰: تغییرات فاصله ردیف اول مهار به همراه تغییرات طول گیردار مهار

Table 10. percentage of deflection of the wall variation in different first row anchor's level and different bond length of anchors

پارامترهای گود		پارامترهای شمع نگهبان					پارامترهای مهار					پارامترهای خاک		حالت بارگذاری
میزان جابجایی تاج (mm)	درصد تغییر تغییر مکان تاج	H	he	EA	EI	Sp	L(unb)	L(b)	$\theta$	Sa	Z0	C	$\phi$	
۰۵/۲	%-۴/۹۴							۷/۳			۰/۵			
۸۴/۲۰	%-۴/۴۳							۷/۳			۱			
۸۷/۳۶	۰							۷/۳			۱/۸			
۷۴/۲	%-۱۰۰							۷/۳ (+۲۵)			۰/۵			استاتیکی
۹/۲۱	%-۶/۴۰	۷/۱۵	۹/۵	۱/۴۷E+۰۹	۱/۱۶۲E+۰۷	۲/۴۴	۵/۰۵	۷/۳ (+۲۵)	۳۰	۲/۴۴	۱	۱	۳۲	
۹۱/۳۸	%+۸							۷/۳ (+۲۵)			۱/۸			
۳۷/۱	%-۱۰۳							۷/۳ (-۲۵)			۰/۵			
۴۳/۲۳	%-۵/۳۶							۷/۳ (-۲۵)			۱			
۷۱/۳۷	%+۳/۲							۷/۳ (-۲۵)			۱/۸			



شکل ۱۳: الف) نمودار تغییر شکل شمع نگهبان با تغییر فاصله ردیف اول مهار از تاج گود ( $Z_0$ ) به ازای تغییرات زاویه مهار، ب) نمودار تغییر شکل شمع نگهبان با تغییر فاصله ردیف اول مهار از تاج گود ( $Z_0$ ) به ازای تغییرات طول گیردار مهار

Fig. 13. a) deflection of soldier piles by variation of first row anchor's level ( $Z_0$ ) in different angle of inclination of the anchors b) deflection of soldier piles by variation of first row anchor's level ( $Z_0$ ) in different bond length of the anchors

شد که با افزایش طول گیردار مهار میزان جابجایی دیوار کاهش می‌یابد، اما اثر افزایش طول گیردار مهار نسبت به مدل اولیه نسبت به کاهش طول گیردار بیشتر است.

- با ارزیابی تغییرات فاصله ردیف اول مهار از تاج گود مشاهده شد که هرچه این فاصله کمتر می‌شود میزان جابجایی دیواره کاهش می‌یابد و مود تغییرشکلی دیواره به سمت شکم‌دادگی می‌رود. همچنین مشاهده شد که تغییر زاویه مهار و طول گیردار مهار در هر یک از این فواصل ردیف اول، همان نتایج قبلی برای تغییر هر یک از این پارامترها را نشان می‌دهد.

- با تغییر فواصل افقی شمع نگهبان مشاهده شد که مود چرخشی دیوار تغییر چندانی نمی‌کند و صرفاً میزان جابجایی افقی دیواره با کاهش فاصله افقی کاهش می‌یابد. همچنین مشاهده شد که افزایش فاصله افقی شمع نسبت به مدل اولیه تاثیر بیشتری بر تغییرات جابجایی افقی دیواره نسبت به کاهش فاصله افقی شمع دارد.

- با مقایسه پارامترهای مختلف مشاهده شد که در حالت بارگذاری استاتیکی تغییرات سختی خمشی شمع نگهبان و تغییرات طول ناحیه گیردار مهار به ترتیب بیشترین و کمترین اثر را بر روی ماکزیمم جابجایی افقی دیوار دارد.

#### مراجع

- [1] C.G. Mueller, Load and deformation response of tieback walls, in, University of Illinois at Urbana-Champaign, 2000, pp. 554 p.
- [2] G.W.G. Clough, T.T.D. O'Rourke, Construction Induced Movements of Insitu Walls, Design and performance of earth ..., 1990 (1990) 292-308.
- [3] R.B. Peck, Deep excavations and tunneling in soft ground(state of the art report), Proc. VIIth ICSMFE, Mexico, 7(3), (1969) 225-290.
- [4] T.W. Lambe, E.K. Turner, Braced Excavations, 1970 Special Conference on Lateral Stresses Ground Design Earth-Retaining Structures, Cornell Univ, P 149-218 (1970) APPEND.
- [5] D.T. Goldberg, W.E. Jaworski, M.D. Gordon, Lateral support systems and underpinning. Rep. FHWA-RD-75-128, (1976).
- [6] O'Rourke, Ground movement caused excavations, Journal of geotechnical engineering ASCE, 107(9) (1981) p. 1159-1178.
- [7] P.-G.H.-Y.O.a.-H. Hsieh, Efficiency of excavations with buttress walls in reducing the deflection of the diaphragm wall, Acta Geotech, 11 (2016) 1087-1102.
- [8] C.-Y. Ou, FINITE ELEMENT ANALYSIS OF DEEP EXCAVATION PROBLEMS, Journal of GeoEngineering, 11 (2015) 1-12.

همانطور که در شکل ۱۳-الف، مشاهده می‌شود در تمامی فواصل ردیف اول مهار، با افزایش زاویه مهار مقدار جابجایی ماکزیمم هم افزایش می‌یابد. در شکل ۱۳-ب، هم مشاهده می‌شود که با افزایش مقادیر طول گیردار مهار مقدار جابجایی کم می‌شود، اما میزان تاثیرگذاری آن نسبت به پارامتر زاویه کمتر می‌باشد. در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود که هر چه فاصله ردیف اول مهار از تاج گود کمتر می‌شود، مود تغییرشکل شمع نگهبان به سمت شکم‌دادگی پیش می‌رود. با توجه به مقدار و شکل تغییرشکلی دیواره قابل استنباط است که مناسب‌ترین مقدار برای فاصله اولین ردیف مهار مقداری بین ماکزیمم (حد مجاز آئین نامه و یا توصیه‌نامه) و مینیمم (تغییرشکل صفر در تاج گود) است. مقدار آن هم در حدود ۱ متر از تاج گود در گود ۷/۵ متری است. پس به عبارت دیگر می‌توان نتیجه گرفت که مناسب‌ترین محل برای فاصله ردیف اول مهار از تاج گود به مقدار ۰/۱۳ H است.

#### ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از مدل‌سازی عددی به ارزیابی عملکرد دیوارهای دیافراگمی مرکب در حالت بهره‌برداری پرداخته شد. ابتدا با استفاده از نرم‌افزار FLAC<sup>2D</sup> به صحت‌سنجی مدل عددی با استفاده از نتایج ساخت گودبرداری مورد مطالعاتی پرداخته شد. سپس در نرم‌افزار با تغییر پارامترهایی همچون زاویه مهار، طول آزاد و گیردار مهار، فاصله افقی شمع نگهبان، سختی خمشی شمع نگهبان و فاصله ردیف اول مهار از تاج گود همزمان با تغییر زاویه مهار و طول گیردار مهار، نتایج جابجایی افقی دیواره مورد بررسی قرار گرفت و مناسب‌ترین حالت در هر یک از این حالت‌ها معرفی گردید. در هر قسمت، بین نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از محققان پیشین مقایسه‌ای صورت گرفت. در ادامه خلاصه‌ای از نتایج به دست آمده به تفکیک آورده شده است :

- با بررسی تغییرات سختی خمشی شمع نگهبان نسبت به مدل اولیه مشاهده شد که با افزایش سختی میزان جابجایی دیواره کاهش می‌یابد و همچنین از انعطاف‌پذیری دیواره کاسته می‌شود و به لنگر ایجاد شده در دیواره اضافه می‌شود. همچنین مشاهده شد که کاهش سختی تاثیر بیشتری بر تغییرات جابجایی افقی نسبت به افزایش سختی دارد.

- با ارزیابی اثر زاویه مهار بر روی جابجایی افقی دیوار مشاهده شد که با افزایش زاویه مهار میزان جابجایی دیواره کاهش می‌یابد. اما از زاویه ۱۵ درجه به بالا این اثر کاهشی جابجایی افقی دیواره کمتر می‌شود.

- با بررسی طول آزاد مهار مشاهده شد که با افزایش طول آزاد مهار میزان جابجایی کاهش می‌یابد و همچنین مود جابجایی از شکم‌دادگی به سمت چرخش حول پاشنه تغییر می‌یابد. همچنین افزایش طول آزاد نسبت به مدل اولیه تاثیر بیشتری بر تغییرات جابجایی افقی دیواره نسبت به کاهش طول آزاد مهار دارد. همچنین این تغییرات تاثیر چندانی بر میزان لنگر در شمع نگهبان ندارد.

- با ارزیابی اثر طول گیردار مهار بر روی جابجایی افقی دیوار مشاهده

- [17] J.-L. Briaud, Y. Lim, Tieback Walls in Sand: Numerical Simulation and Design Implications, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 125 (1999) 101-110.
- [18] Y. Lim, J.-L. Briaud, Three dimensional non linear finite element analysis of tieback walls and of soil nailed walls under piled bridge abutment., in: Rep. to the Federal Highway Administration and the Texas Department of Transportation, Department of Civil Engineering, Texas A&M University, College Station, Tex., 1996.
- [19] P. Dunlop, J.M. Duncan, Development of failure around excavated slopes, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 96 (1970) 471-493.
- [20] J.M. Duncan, P. Byrne, K.S. Wong, P. Mabry, Strength, stress-strain and bulk modulus parameters for finite element analysis of stress and movements in soil masses, *Thin Solid Films*, 379 (1980).
- [21] C. Reference, Fast Lagrangian Analysis of Continua, in, 2007, pp. 1-6.
- [22] P.J. Sabatini, D.G. Pass, R.C. Bachus, FHWA-IF-99-015: Geotechnical engineering circular No. 4: Ground Anchors and Anchored Systems, in: *Capítulo IV*, 1999, pp. 57-66.
- [23] T. Fekadu, Analysis and parametric study of deep excavation with diaphragm wall using finite element based software, in, Addis Ababa University, 2010, pp. 104.
- [24] R.S. Cheney, FHWA-DP-68: Permanent Ground Anchors, in, 1990.
- [25] G.W. Clough, Y. Tsui, Performance of Tied-Back Walls in Clay, *ASCE J Geotech Eng Div*, 100 (1974) 1259-1273.
- [9] G.B. Sowers, G.F. Sowers, Failures of bulkhead and excavation bracing, *Civil Engineering*, 37 (1967) 72-77.
- [10] a.B. Fourie, D.M. Potts, Discussion: The behaviour of a propped retaining wall: results of a numerical experiment, *Géotechnique*, 36 (1986) 119-121.
- [11] Y. Tan, S.G. Paikowsky, Performance of sheet pile wall in peat, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 134 (2008) 445-458.
- [12] K. Krabbenhoft, L. Damkilde, S. Krabbenhoft, Ultimate limit state design of sheet pile walls by finite elements and nonlinear programming, *Computers and Structures*, 83 (2005) 383-393.
- [13] S.O. Grande L, Tefera TH., Large scale model testing on the moment distribution and deformation behaviour of a sheet pile wall., in: 2nd International conference on soil structure interaction in urban civil engineering, Zurich, 2002, pp. 389-394.
- [14] W.P. Dawkins, W.P. Dawkins, Investigation of Wall Friction, Surcharge Loads, and Moment Reduction Curves for Anchored Sheet-Pile Walls, in: US Army Corps of Engineers, ERDC/ITL TR-01-4, 2001.
- [15] K. Sakai, K. Tazaki, Development and applications of diaphragm walling with special section steel-NS-Box, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 18 (2003) 283-289.
- [16] O. Kunihiko, K. Rinya, A. Hidemi, Development of New H-Section Steel Shape with Inner Rib , “ J-grip H ,” and Its Application to Steel Concrete Composite Diaphragm Wall †, 16 (2011) 45-51.

Please cite this article using:

M. Minaei Javid, A. R. Rahai, A. Eslami, Performance Evaluation of Anchored Diaphragm Walls under Service Loads, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(4) (2018) 765-780.

DOI: 10.22060/ceej.2017.12799.5271

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:



