

تأثیر شیب بستر روی رفتار شمع سکوی دریایی تحت بارگذاری جانبی

K. Muthukkumaran · K. S. Arun

Received: 4 August 2014 / Accepted: 7 January 2015
© Springer International Publishing AG 2015

چکیده:

سکوهای دریایی ثابت با فنداسیون شمعی احتیاج به مقاومت کافی برابر بارهای جانبی به علت نیروهای موج و جریان دارد. پاسخ در برابر بارهای محیطی تأثیر خیلی مهمی از اندرکنش خاک و سازه می پذیرد. بارهای اعمال شده توسط امواج در میان نیروهای محیطی جانبی که حاکم بر طراحی سازه هستند خصوصاً در پی‌های شمعی اثر غالب دارند. تحقیق حاضر یک آنالیز استاتیکی موج روی یک نمونه سکوی دریایی ثابت در شرایط محیطی نهایی انجام می دهد و تأثیرات ترکیب نیروهای جانبی و قائم روی پی‌های با گروه شمعی مطالعه می کند. مدل کردن ۳ بعدی و تحلیل سکوی دریایی با استفاده از روش تفاضل محدود انجام شده است. تحلیل حاضر شرایط استاتیکی با در نظر گرفتن بارهای محیطی انجام شده است با رسیدن به حالت استاتیکی پایدار. یک مطالعه پارامتریک با شیب‌های متنوع بستر دریا برای صورت گرفته است تا تغییرات در رفتار اندرکنش شمع - خاک را بررسی کند. این موضوع فهمیده می شود که جابه‌جایی جانبی در بالای شمع و در سطح بستر دریا همانند افزایش شیب افزایش می یابد. همچنین مشخص می شود عمقی که در آن حداکثر نیروی برشی و ممان خمشی اتفاق می افتد با افزایش شیب افزایش می یابد.

مقدمه:

شمع‌ها همواره در معرض مقادیر قابل توجهی بارهای جانبی و ممان‌های واژگونی در کنار بارهای محوری هستند. بارهای جانبی حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد بارهای قائم در سازه‌های واقع در ساحل و در مورد سازه‌های دریایی می‌تواند از ۳۰ درصد بار قائم باشد. از این رو، پی‌های شمعی تأثیر زیادی روی پاسخ سکوه‌های ثابت دریایی به علت بارگذاری جانبی دارند. در میان نیروهای محیطی نیروهای موج و نیروهایی که به علت وجود جریان دریایی وابسته به شرکت موج وجود دارند بیشترین نیروهای جانبی هستند که سازه‌های دریایی تجربه می‌کنند. از این رو توجه صحیحی باید در طراحی هر سازه شمعی سکوه‌های دریایی ثابت تحت بار جانبی صورت گیرد.

شمع‌ها معمولاً یک عنصر موثر برای تکیه‌گاه سازه‌های بلند تأسیسات ثابت در بزرگراه‌ها و سکوه‌های دریایی انتخاب می‌شوند این عضوهای سازه‌ای اغلب در معرض نیروهای جانبی قابل توجه از قبیل نیروهای باد در مناطق در معرض طوفان، بارهای زلزله در مناطق زلزله‌خیز و بارهای موج در محیط‌های دریایی، قرار دارند. اندرکنش خاک و سازه مکانیزمی است که بر پاسخ رفتاری شمع و ظرفیت نهایی سازه برای بارهای اعمال شده حاکم می‌باشد. یک روش متداول تحلیل نیروهای جانبی شمع روش انتقال بار است. که رفتار خاک را به عنوان یک سری فنرها در طول شمع در نظر می‌گیرد. با تعریف کردن پارامترهای تغییر شکل یک خاک متوسط، رفتار خمشی فنداسیون و شرایط در سطح مشترک، موضوع اندرکنش فنداسیون-خاک اساساً در تعیین توزیع تنش تماس در سطح مشترک کاهش می‌یابد. بر اساس تنش‌های تماسی از پیش تعیین شده، امکان ارزیابی تغییر شکل‌ها، ممان خمشی و نیروهای برشی در پی و در نظر گرفتن تنش‌ها و جابه‌جایی‌ها در خاک متوسط فراهم می‌شود.

یک سکوی نفتی یک سازه دریایی بزرگ استفاده شده به عنوان جایگاه برای کارگران و ماشین آلات که احتیاج به حفر کردن و یا تولید نفت و گاز طبیعی از میان چاه های در بستر اقیانوس دارند می باشد. حفر کردن های اکتشافی در آب های کم عمق عمدتاً با کمک سکوهای ثابت ژاکتی انجام می شود در حالی که از سازه های شناور برای عمق هایی که به بیش از ۲۰۰۰ متر میل می کند استفاده می شود. بر اساس هندسی و رفتاری، سازه های دریایی به سکوهای ثابت، سکوهای موافق و سیستم های معلق طبقه بندی می شوند. پاسخ در برابر بارهای طبیعی به طور قوی از اندرکنش شمع-خاک اثر می پذیرد. در میان تمام نیروهای محیطی نیروهای موج و نیروهای به علت جریان های دریایی وابسته به امواج بیشترین سهم از کل نیروهای جانبی هستند که سازه های دریایی تجربه می کنند و نیروهای قائم به علت وجود استراحتگاه کارکنان، ابزارهای حفاری و تأسیسات تولیدی دیگر می باشند.

سطح های دریایی شیب دار سطح هایی از دریا هستند که به علت وجود اختلالات در بستر که ممکن است به علت عمل امواج باشند به وجود آمده اند. حتی بعد از نصب یک سازه دریایی، احتمال تغییر شکل شیب در طول بستر به علت فرسایش، یا به علت امواج می رود.

بنابراین، مهم است که سازه باید به اندازه کافی ایمن باشد حتی در شرایط بستر شیب دارد. از اینرو مطالعه تغییرات در اندرکنش خاک-سازه برای مورد بسترهای شیب دار و موارد بسترهای صاف سازه های دریایی ضروری می باشند.

تغییر شکل و تنش های یک شمع منفرد دریایی تحت سازه های ترکیبی و بارگذاری موج توسط ایچر و همکاران (Eicheretal) با استفاده از روش المان محدود انجام شده است. یک مدل کنترلی با استفاده از یک سری اطلاعات کنترلی تحلیل شده است، سپس با مدل های بعدی که پارامترهای شمع و بارگذاری تغییر می یابد مقایسه شده است. پارامترهای بارگذاری استفاده شده برای کامل کردن این تحقیق دوره تناوب موج (T)، ارتفاع موج (H) و زاویه موج فرعی (α) هستند. پارامترهای مقاومتی خاک استفاده شده در کامل کردن این

تحقیق میانگین مقاومت بتن و مقدار فولاد مسلح کننده می باشند. تأثیر پارامترهای سکوی دریایی ثابت در معرض بارگذاری ناگهانی ایجاد شده توسط موج نهایی و بارگذاری جریان به وسیله مصطفی و ناگار مطالعه شده است.

مقاومت خاک برای مسئله جابه جایی شمع با استفاده از منحنی های ρ - γ دینامیکی t - z برای محاسبه غیرخطی بودن خاک و اتلاف انرژی در اثر میرایی مدل شده است. ρ و z های افزایشی برای محاسبه اندرکنش شمع - خاک - شمع در یک روش ساده استفاده شده است.

چایی و همکاران (Chae et al) چندین مطالعه عددی با یک مدل ۳ بعدی المان محدود انجام داده اند، تست های مدل و تست آزمایش بارگذاری جانبی شمع صلب کوتاه و پی ستونی قرار گرفته در کنار شیب بررسی شده است و نتایج تست مدل با اندازه گیری های میدانی مقایسه گردیده است. در می یابیم که به علت تأثیر شیب مقاومت جانبی شمع کاهش می یابد. تأثیر ناپایداری بستر روی یک سازه دریایی ثابت توسط مصطفی و ناگار (Mostafa and Nagar) بررسی شده است. در مطالعه ایشان، ناپایداری بستر آشکار شده در جابه جایی لایه های خاک، نیروهای جانبی که امکان ایجاد تنش های بزرگ در پی های دریایی دارند اعمال شده است. تعداد زیادی محققان همچنین تأثیر شیب زمین روی رفتار شمع بارگذاری جانبی شده را مطالعه نموده اند. (Muthukkuamaran et al , Almas Begum and Muthukkuamaran).

از مرور مقالات، این واضح است که مطالعه پاسخ سکوه های دریایی ثابت به علت انواع مختلف بارگذاری توجه مثبت بسیاری از محققین و مهندسان اجرایی را جلب کرده است. از اینرو، مطالعه کوچکی یافت شده است در مقالات روی پاسخ های ژاکتی ثابت به علت بارگذاری امواج و جریان که شامل اندرکنش شمع - خاک و تأثیر شیب بستر می باشد. بطوریکه سکوه های ژاکتی ثابت متداولترین نوع سکوی استفاده شده است. از این رو صنعت و بازرگانی علاقه مندی هایی برای این سکوه های با طول عمر زیاد و بدون تسلیم شدن در شرایط محیطی سخت به وجود آمده است که خواهان انجام آن هستند. سکوه های ژاکتی ثابت در معرض اتفاقات

زیادی هستند: این اتفاقات به ۴ دسته تقسیم می شوند: در حال انتقال، سکو، نصب، عملیاتی و جداشدگی. احتمال این اتفاقاتی با طراحی صحیح و تحلیل درست سازه می تواند کاهش یابد. برای فراهم کردن تأثیر و دقت بیشتر طراحی برای سیستم های فنداسیون شمعی سکوی، ژاکتی ثابت تحت بارهای محوری و جانبی، یک مدل تفاضل محدود با استفاده از FLAC3D ایجاد گردیده و آنالیز شده است. عملکرد بارهای امواج روی سازه با استفاده از تطبیق داده های محیطی محاسبه شده است و بار سازه نیز به آن اعمال شده است. آنالیز استاتیکی برای اعمال کردن هر دو بارهای قائم و افقی همزمان انجام شده است. مطالعه پارامتری نیز همچنین با تغییر دادن شیب بستر تحت شرایط بارگذاری مشابه صورت گرفته است.

۲) شرح سکو:

سکوی دریایی ژاکتی ثابت در نظر گرفته شده در این تحقیق سکوی "Kvitebjorn" است و جزئیات سکو از تحقیق مصطفی و ناگار (Mostafa and Nagar) برگرفته شده است. عمق آب در محل ۱۹۰ متر و زیرسازه یک ژاکت فولادی شمعی است.

زیرسازه دارای ۴ پایه حمایت شده با گروه های شمع فولادی قائم متقارن در گوشه ها است. قسمت بالایی سازه نصب شده است به قسمت پایین با یک اتصال گروتی سنتی و حدود ۲۵ متر به سمت بالای بستر دریا ادامه پیدا کرده است. سازه ترازبندی شده است با استفاده از ۴ شمع تراز شده و D به صورت دائمی روی ۱۶ شمع کوبیده شده با عمق نفوذ ۹۰ متر نصب شده است.

وزن های قسمت های بالایی و پایینی سازه به ترتیب تقریباً برابر $73/000\text{KN}$ و $45/000\text{KN}$ می باشند. وزن نهایی فنداسیون $53/000\text{KN}$ وزن نهایی سکو $171/200\text{KN}$ می باشد. سازه برای حداکثر وزن عمل کننده قسمت بالای $225/000\text{KN}$ طراحی شده است.

قسمت پایینی یک شکل مربع با ابعاد 50×50 متر است، این قسمت دارای بلندی ۴۵ متر و ۴ پایه قائم می باشد. قسمت بالایی از ارتفاع تقریبی ۱۴۵ متری تا ارتفاع ۸+ متری ادامه پیدا کرده است و با یک پوشش روی تمام اطراف مربع شکل در کف 50×50 متری تا ابعاد مربعی بالا با 25×25 متر. ژاکت پخ دار شده روی دو طرفی که ابعاد $30 \times 22/5$ متر تا ارتفاع $21/2$ متری از مبدأ ادامه می یابد این ابعاد ثابت نگه داشته می شود تا $24/1$ متری که بالای سطح مشترک قرار می گیرد. تمام ارتفاع ها وابسته میانگین سطح دریا می باشند. ژاکت حمایت شده توسط ۱۶ شمع با قطرهای $2/438$ متری که در گروه های متقارن ۴ شمعی در هر گوشه قرار گرفته اند. یک نمونه طرح بندی گروه شمع برای یک پایه در شکل ۱ (Fig.1) نشان داده شده است.

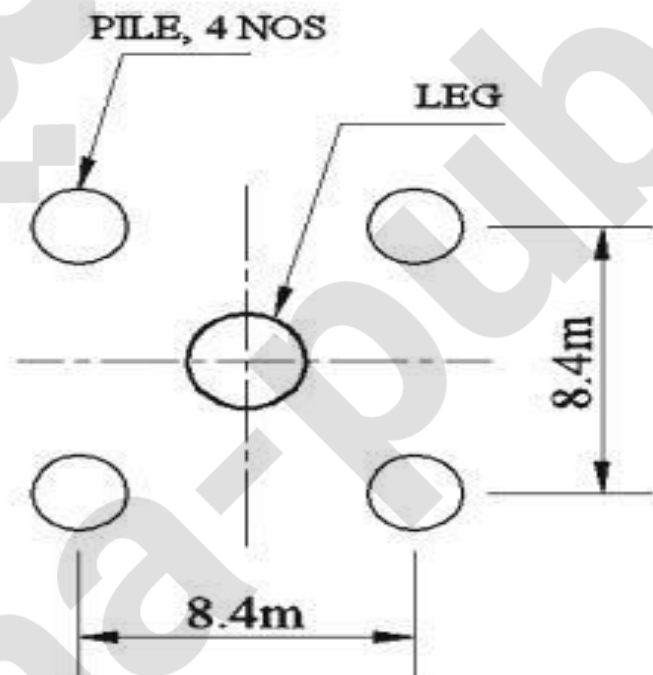


Fig. 1 Pile Group Layout for One Leg, after Mostafa and Naggai (2004)

۳) اطلاعات محیطی:

حداکثر ارتفاع امواج مستقیم با دوره بازگشت ۱۰۰ سال در جدول ۱ (Table 1) داده شده است که شامل میانگین دوره تناوب امواج می باشد. جریان وابسته به موج طرح با دوره بازگشت ۱۰۰ سال در جدول ۲ (Table 2) داده شده است. هیچ نیروی بادی تعیین نگردیده است. ضخامت رشد دریایی ۲۰ میلی متر در زیر ارتفاع ۲ متر در نظر گرفته شده است.

ناهمواری به علت رشد دریایی به حساب آورده می شود با تعیین ضرایب در معادله موریزون (Morison's) برای نیروهای موج چگالی متوسط خشک مواد موجود در شیب $1300 \frac{kg}{m^3}$ در نظر گرفته شده است. ضرایب اینرسی و کششی به ترتیب ۰/۷ و ۲ فرض گردیده اند و سینماتیک موج با استفاده از تئوری موج استوکس محاسبه شده است. (Stokes 1947).

Table 2 Values for associated current, after Mostafa and Naggar (2004)

Depth below sea-level (m)	Current speed (cm/s)
0	50
25	50
50	50
75	46
100	42
125	39
150	36
175	32
190	29

۴) مراحل مورد بحث برای پیدا کردن نیروهای امواج:

ارزیابی بارهای روی موج روی سازه در اقیانوس مراحل زیر را شامل می گردد:

(i) شناسایی کردن شرایط بارگذاری «نرمال» و «نهایی»

(ii) انتخاب کردن تئوری مناسب

(iii) ارزیابی سرعت و شتاب ذرات موج بر طبق تئوری انتخاب شده که در پیوستگی با معادله موریزون منجر به ارزیابی کمی نیرو می شود.

۱-۴) ملاحظات محیطی:

شرایط محیطی نرمال (شرایطی هستند که انتظار می رود به تناوب در طول عمر سازه اتفاق می افتد) بسیار مهم هستند در هر دو طول ساخت و در عمر سرویس دهی سکو. شرایط محیطی نهایی (شرایطی هستند که به ندرت در طول عمر سازه اتفاقی می افتد) در فرمول کردن بارهای طراحی سکو بسیار مهم هستند. برای شرایط نهایی امواج تعریف کردن حالت نهایی دریا باید یک دید عددی، ارتفاع و قله‌ی تمام امواج بالای یک ارتفاع معین که ممکن است در محل سکو از هر جهتی در طول عمر کامل سازه اتفاق بیفتد فراهم گرداند. در اینجا، در این مقاله، شرایط محیطی نهایی برای تحلیل انتخاب شده هستند یعنی داده‌های محیطی برای یک دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در نظر گرفته شده است. از داده‌های محیطی برای شرایط محیطی نهایی و استفاده کردن از محدوده‌های معتبر برای تئوری موج انتخاب شده، فهمیده می شود که منطقه رخ دادن در ناحیه‌ای زیر امواج آب‌های عمیق است. بنابراین، تئوری موج استوکس برای محاسبه سرعت و شتاب ذرات موج استفاده شده است.

Table 1 Design waves versus return period, after Mostafa and Naggar (2004)

Return period (year)	Wave height (H) in meter	Height above MSL (a) in meter	Wave period	
			Mean value (T)	90 % interval
1	22.5	12.8	13.8	12.2-15.5
10	25.3	14.2	14.6	13.0-16.4
100 (extreme condition)	28.5	16.1	15.3	13.6-17.1
10,000	36	20.4	17.1	15.1-19.1

Table 3 Soil properties formulated for *FLAC 3D* input after (Mostafa and Naggar 2004, 2006)

Soil layer data			FLAC 3D input					
Sl. no.	Depth (m)	Type of soil	E (kPa)	G (kPa)	K (kPa)	φ (degrees)	c (kPa)	Shear strength (kPa)
1	7.5	Very soft to soft silty sandy clay	3,000	1,111.11	3,333	0	15	15
2	24.5	Sandy, clayey silt	40,000	14,814.8	44,444	0	80	80
3	15	Very stiff to hard silty clay	180,000	66,666.7	200,000	0	150	150
4	5	Very dense fine sand	100,000	40,000	66,666	35	-	300
5	10	Very stiff to hard clay	435,000	161,111	483,333	0	290	290
6	15	Very stiff to hard clay	277,500	102,778	308,333	0	185	185
7	8	Very stiff to hard clay	292,500	108,333	325,000	0	195	195

۵) مدل کردن سکوی دریایی، ژاکی ثابت:

مدل های عددی در برگیرنده FDA می تواند چندین روش برای پیش بینی درست نتایج پیشنهاد دهد. گاهی شروع مسئله مدل شده پیچیده است و باید یک سری ساده سازی ها برای جواب ها صورت گیرد. در اینجا روش تفاضل محدود (FLAC3D) برای تحلیل استفاده شده است. که رویه حل تفاضل محدود زمانی واضح برای تحلیل و محاسبه ترتیب داده شده است. ۱) نیروهای گره ای از تنش های، بارهای اعمالی و نیروهای گره ای محاسبه می شود. ۲) تعادل حرکت انجام شده تا سرعت ها و جابه جایی های گره ای جدید استخراج گردد. ۳) نرخ کرنش المانی از سرعت های گره ای بدست می آید. ۴) تنش های جدید از نرخ های کرنشی استخراج می شود، با استفاده کردن از معادله مشخصه. این روند در هر مرحله تکرار می شود و ماکزیمم نیروی خارج از بالانس بدست آورده می شود. این نیرو زمانی نزدیک صفر است نشان دهنده این است که سیستم به یک حالت تعادل می رسد یا زمانی که به یک مقدار ثابت غیر صفر می رسد نشان دهنده این است که سیستم به یک حالت تعادل پلاستیک پایدار می رسد.

بلوک خاک چند لایه مدل شده است با استفاده کردن از المان های کوچکتر خشت مانند که دارای ۸ مرجع نقطه ای است. هر المان مستقل سازه ای از ۳ عضو تشکیل شده است؛ گره ها، المان های مستقل و رابطه

های شبکه به گره، مشخصات هر یک از این عضوها رفتار قیر، شمع و صفحات موجود را تمایز می دهد. لایه های خاک با مدل پلاستیک موهر-کولمب مدل شده است.

از آنجایی که آنالیز با استفاده از مدل موهر-کولمب انجام گرفته است رفتار تحکیمی خاک روی پاسخ شمع مطالعه شده است در این مقاله پروفایل خاک یک بلوک چند لایه خاک در نظر گرفته شده است. ضریب پواسون ۰/۲۵ برای ماسه و ۰/۳۵ برای رس است. از چسبندگی زهکشی شده و زاویه اصطکاک داخلی خاک، ضریب پواسون و نوع لایه های خاک، مشخصات بدست آمده به عنوان ورودی به FLAC3D فرموله شده و در جدول ۳ (Table3) نشان داده شده است. این مشخصات شامل مدول الاستیسیته (E)، مدول برشی (G)، مدول بالک (K)، زاویه اصطکاک داخلی (ϕ)، چسبندگی (C) و مقاومت برشی است.

شمع های در هر گروه در یک کلاهک صلب ثابت می شوند که به عنوان صفحه کلاهک شمع استفاده شده در المان های صفحه ای مدل شده است و صفحه عرشه در پوسته مدل شده است که با المان مثلثی مسطح با ۳ گره بیان می شود هر قیر یا المان شمع دارای ۲ گره و هر گره دارای ۶ درجه آزادی است (۳ چرخش و ۳ انتقال در هر گروه). هر المان در نهایت ۱۲ درجه آزادی فعال دارد. هر المان پوسته ای ۳ گره و هر گره دارای ۶ درجه آزادی است (۳ چرخش و ۳ انتقال در هر گروه). ماتریس سختی المان شمع یا قیر شامل هر ۶ درجه آزادی هر گره است برای نشان دادن عمل های محوری، خمشی و برشی در داخل یک قیر سازه ای.

المان های خاک و المان های شمع به وسیله المان های رابطه موهر-کولمب دو سویه متصل شده اند. این موضوع اجازه می دهد که یک روش بیان گسترش مقاومت جانبی با جابه جایی نسبی شمع - خاک گسترش داده شود و نهایتاً حدود نهایی عملکرد فشار خاک روی شمع بدست می دهد.

شمع ها و پایه های سکو به ترتیب به عنوان اعضای شمعی و قیر اختصاص داده شده اند که به عنوان المان

های دو گره ای مدل شده هستند.

اعضای افقی و مهاربندها نیز به عنوان اعضای قیر مدل شده اند. المان های خطی دو گره ای در نظر گرفته شده رفتار شمع ها و خاک را بیان می کند. شمع متقابلاً با شبکه از طریق برش و جفت فنرهای نرمال اثر می کند. فنرهای متصل شده غیرخطی هستند، متصل کننده های چشمه های مجاور که نیروها و حرکت های بین شمع و شبکه واحد المان های شمع انتقال می دهند. فنرهای ثابت با استفاده از رابطه و سیک (Vesic) محاسبه شده اند. دید سه بعدی مدل تشکیل شده در شکل ۲ (Fig 2) نشان داده شده است. بالای مدل در $z=0$ یک سطح آزاد است، و استوانه مرزی روی اطراف مدل تحمیل شده است. در $x=150m$ و $y=150m$. به خاطر شبیه سازی شیب زمین در این مدل زاویه شیب در این مدل در جهت X که در خلاف جهت بار جانبی است تولید شده است. مدل در ابتدا آورده شده است تا یک حالت پایدار تنش تحت بارگذاری ثقلی قبل از نصب شمع داشته باشیم. در مورد شیب زمین شیب در این مدل قبل از نصب شمع ها مدل شده است. در مرحله بعدی آنالیز مدل در حالت تعادل بعد از نصب شمع آورده می شود.

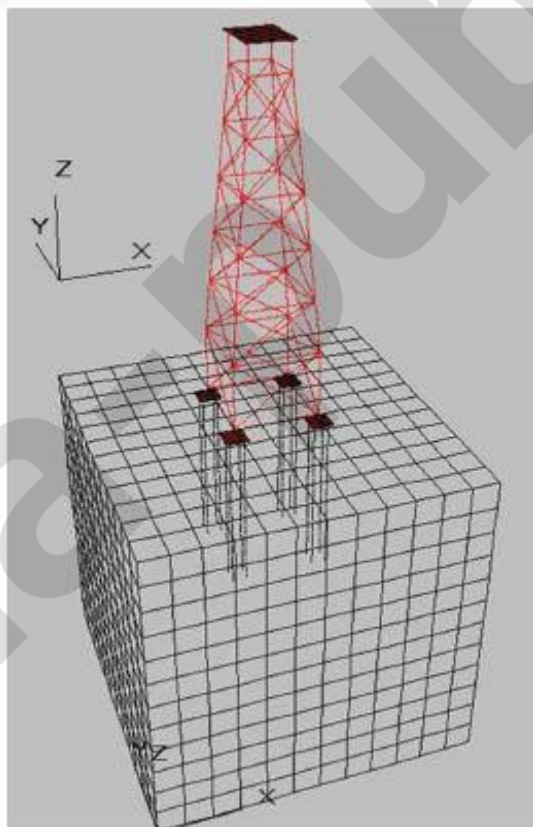


Fig. 2 3D view of the finite difference model generated

۶ اعمال بارها:

بار سازه و بار نهایی موج برای شرایط طبیعی نهایی که در تحلیل استاتیکی استفاده شد به کار برده می شود. شدت بار نهایی سازه ای $230/000 \text{ KN}$ تخمین زده شده است. این بار به عنوان یک فشار قائم در بالای سکو (صفحه محرکه) در شکل ۴ (Fig 4) نشان داده شده است. بار نهایی جانبی ایجاد شده به وسیله امواج و جریان های وابسته در هر تئوری موج تخمین زده شده است و این فرض وجود دارد که بار موج در جهت X عمل می کند که برخلاف جهت شیب زمین است. نیروی محاسبه شده به عنوان یک نیروی استاتیکی معادل اعمال شده است (تأثیر هیدرودینامیک در این تحلیل در نظر گرفته شده است) که در شکل ۳ و شکل ۴ نشان داده شده است. نیروی حداکثر در سطح متوسط دریا خواهد بود و نسبت به عمق آب کاهش می یابد. از آنجاییکه نتایج بسیار مقایسه پذیر با نتایج حتی بدون در نظر گرفتن جنبه هیدرودینامیکی هستند و بنابراین تحلیل استاتیکی معادل به خاطر کاهش زمان محاسباتی کافی می باشد.

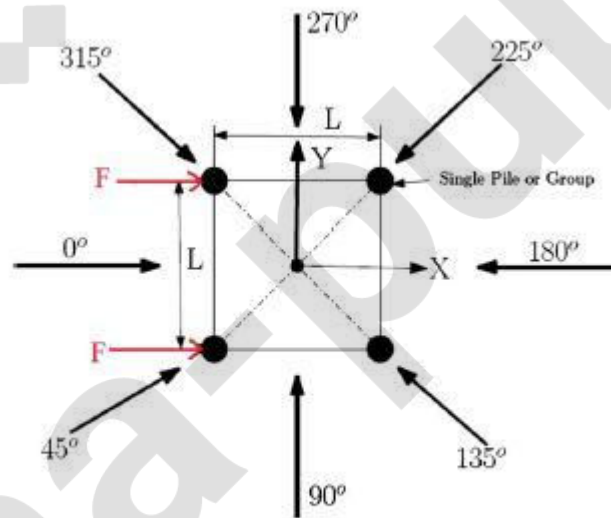


Fig. 3 Application of wave load (F) in plan

۷) حل استاتیکی با تحلیل تفاضل محدود:

تعداد گام های معینی برای رسیدن به حالت تعادل وجود دارد برای یک حل استاتیکی. یک حل پایدار یا استاتیکی در تحلیل تفاضل محدود دست یافته است وقتی که نرخ تغییرات انرژی جنبشی به یک مقدار ناچیز می رسد. این به وسیله میرایی در معادلات حرکت کامل گردیده است. در نتیجه مرحله حل استاتیکی، مدل در یک حالت تعادل یا به یک جریان پایدار مواد خواهد رسید. اگر یک بخش (یا تمام آن) مدل تحت شرایط بارگذاری اعمالی ناپایدار شود، مدل در یک تعادل صحیح است اگر بردار ویژه گره ای در هر نقطه شبکه صفر باشد. در تحلیل استاتیکی سکوی دریایی ثابت تاریخچه‌ی نیروی نامتعادل تا یک مقدار خیلی کم کاهش می یابد و تاریخچه جابه جایی هر گره ثابت خواهد شد که نشان می دهد به حالت تعادل استاتیکی رسیده است.

۸) رفتار شمع ها روی بارگذاری برای مورد بستر مسطح:

آنالیز استاتیکی سکوی دریایی ثابت برای بستر صاف در بارگذاری مشخص شده در بالا صورت گرفته شده است و نتایجی به دنبال آن به دست آمده است. شرح نتایج برای پایه های سکو و شمع های موجود در گروه در شکل ۵ (Fig 5) نشان داده شده اند. برای بررسی پاسخ شمع های LIP2 ، L1P3 و L2P2 و L2P3 انتخاب شده اند که شمع های روبرو و پشت پایه های ۱ و ۲ هستند. بر طبق جهت بارگذاری (جهت X که در شکل ۴ نشان داده شده) شمع های روبرو و پشت پایه ها در اینجا مشخص می شوند، این ۴ شمع در یک ردیف در جهت X برای مطالعه انتخاب شده اند، از آنجاییکه شمع های دیگر به صورت متقارن عمل می کنند به علت جهت مشابه در بارگذاری جانبی ۴ شمع مورد مطالعه برای پاسخ هستند:

L1P3:	شمع پشت پایه ۱	L1P2:	شمع روبروی پایه ۱
L2P3:	شمع پشت پایه ۲	L2P2:	شمع روبروی پایه ۲

Fig. 4 Application of Loads in Elevation

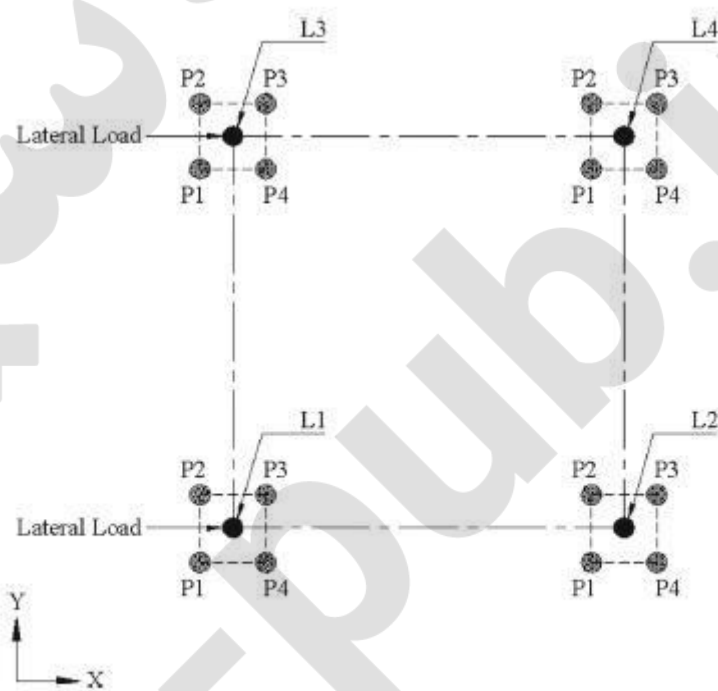
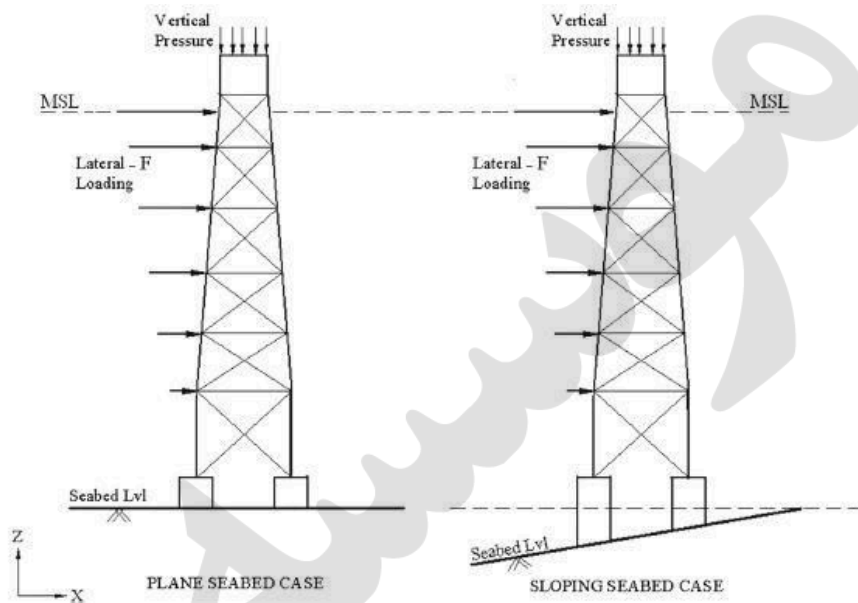


Fig. 5 Legend followed for platform legs and piles

۱-۱) صحت نتایج:

نتایج مطالعه FDA حاضر با نتایج یک مطالعه مشابه توسط مصطفی و ناگار مقایسه شده است. جابه‌جایی جانبی و ممان خمشی برای یک شمع بدست آمده مقایسه شده اند و در شکل های ۶ و ۷ (Fig 6 and 7) نشان داده شده است. از مقایسه، فهمیده می شود که حداکثر مقدار جابه‌جایی شمع در سطح بستر و ممان خمشی در

بررسی حاضر موافقت خیلی خوبی با بررسی مصطفی و ناگار دارند. آنالیز همگرایی مش ها همچنین برای انواع اندازه های مش انجام شده است. اگرچه تغییر مهمی در نتایج روی نداد و از این رو مش حاضر برای تحلیل های بیشتر با زمان محاسبات کمتر استفاده شده است و همچنین مش هایی که نتایج قابل مقایسه و ناگار می دهد برای آنالیزهای بیشتر به مرحله نهایی رسانده شده است.

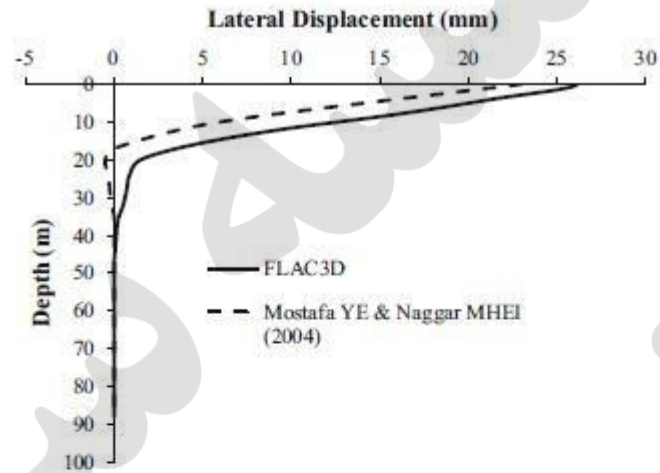


Fig. 6 Lateral displacement comparison

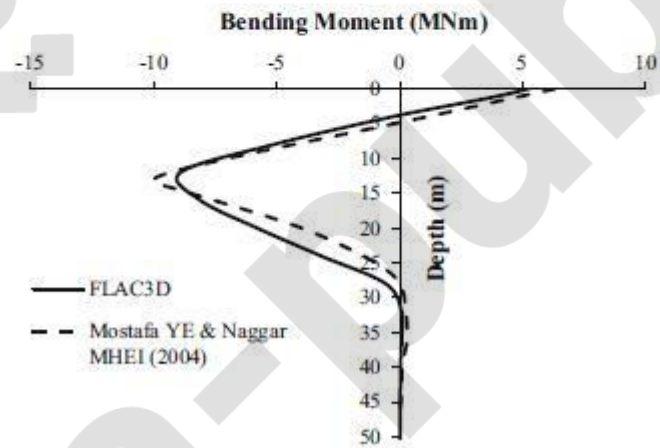


Fig. 7 Bending moment comparison

۲-۱) مقایسه پاسخ های شمع ها در گروه برای سطح بستر صاف:

به خاطر درک رفتار پایه و شمع در پایه های قرار گرفته در بستر صاف جابه جایی جانبی شمع های ۲ و ۳ در

پایه های ۱ و ۲ مقایسه شده که در شکل ۸ (Fig 8) آورده شده است. مقدار صفر در جهت محور y گراف و

سطح بستر و شمع ادامه یافته تا ۱۲ متر بالای بستر تا کلاهک شمع را نشان می دهد. از این گراف ها، مقادیر حداکثر جابه جایی جانبی در سطح بستر در بین تمام شمع ها در شمع های پشت پایه های ۱ و ۲ اتفاق می افتد. حداکثر جابه جایی جانبی L2P3 حدود ۴۸ میلی متر و برای L1P3 حدود ۳۵ میلی متر است. بنابراین جابه جایی شمع های قرار گرفته روبروی دو پایه ۲۵ میلی متر برای شرایط سطح بستر صاف می باشد. این به این دلیل است که ممان گسترش یافته به علت بار جانبی اعمالی برای شمع های پشتی بیشتر از شمع های روبروی خواهد بود.

شکل ۹ (Fig 9) تغییرات ممان خمشی شمع ها در پایه ها را نشان می دهد. این کاملاً واضح به نظر می رسد که ممان خمشی حداکثر همانند جابه جایی در شمع L2P3 رخ می دهد. تأثیر بار جانبی در عملکرد سکو به طور قابل توجهی از اندرکنش خاک-سازه تأثیر می پذیرد که در شکل کاملاً مشخص است. همچنین مشاهده می شود که وقوع ممان خمشی حداکثر در زیر بستر تغییر می کند از یک شمع تا شمع دیگر در یک پایه یا در پایه های مختلف. عمق پایداری شمع پشت قرار گرفته در پایه ۱ و پایه ۲ به ترتیب ۵/۷ برابر قطر و ۶/۴ برابر قطر می باشند در حالی که این مقادیر برای شمع های روبروی دو پایه تقریباً برابر ۳/۷۰ برابر قطر شمع می باشد.

ممان خمشی شمع های قرار گرفته در پشت خیلی بزرگتر از شمع های در روبرو بوده و همچنین عمق پایداری شمع های قرار گرفته در پشت دو مرتبه بیشتر از عمق پایداری شمع های روبرو می باشد. این بصورت کاملاً مشخص نشان می دهد که سکوها در یایی تحت انواع بار جانبی در پایداری بسیار بحرانی هستند، از این رو شمع و سازه احتیاج به طراحی برای حالت بحرانی دارند اگر چه اندازه شمع ها یکسان باشد.

Fig. 8 Lateral displacement vs. depth of pile for plane seabed

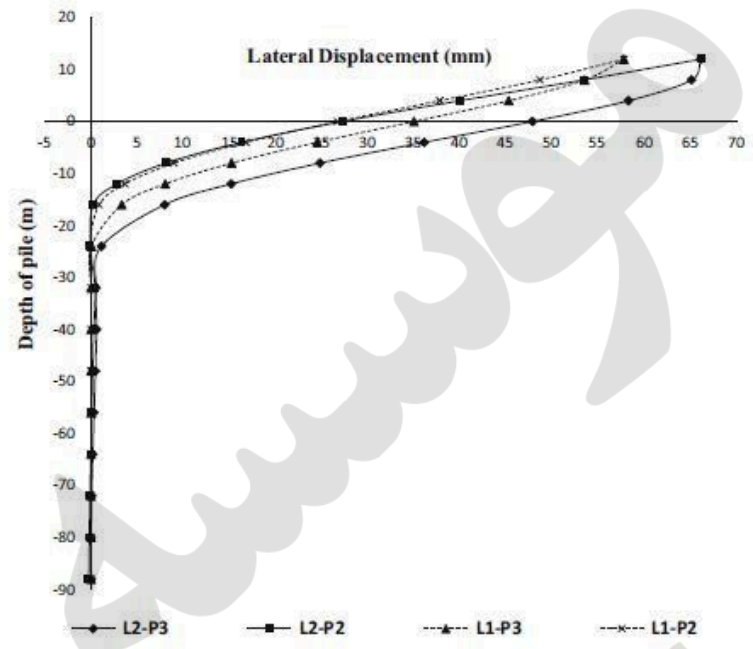
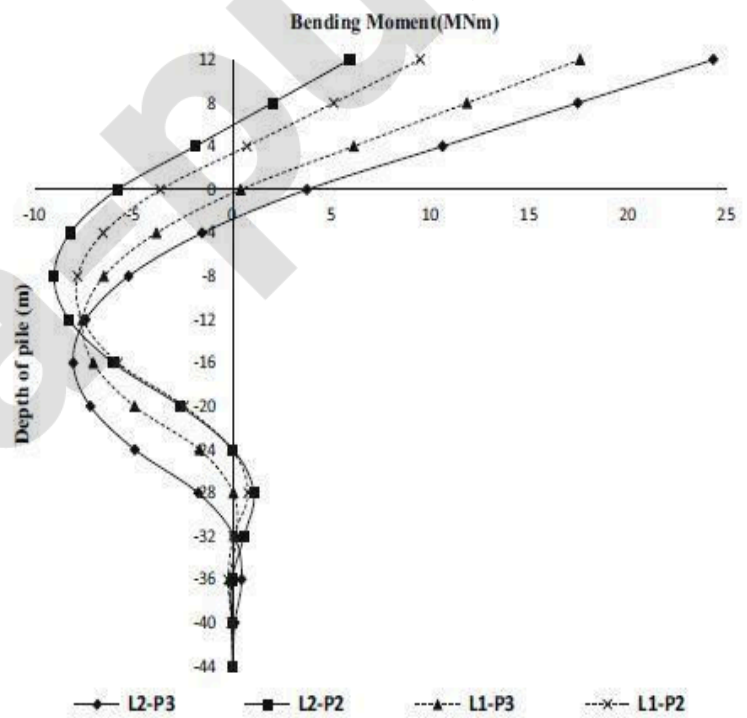


Fig. 9 Bending moment vs. depth of pile



۹) مطالعه پارامتر یک با وجود شیب در بستر:

شیب ایجاد شده به سمت پایین برخلاف جهت بارگذاری جانبی بوده و شیب به سمت پایین فرض شده است که از بالای نقطه انتهایی پشت بلوک خاک با مرجع جهت بارگذاری در طول X شروع شده است. شیب بستر ایجاد شده در شکل ۱۰ (Fig 10) نشان داده شده است. معمولاً بستر دریا از شیب ملایم تا شیب های تندتر را با در نظر گرفتن عمق آب و نیروهای جریان آب را دربرمی گیرد. همچنین شیب بستر به ماهیت خاک در بستر وابسته است.

برای در نظر گرفتن تأثیر شیب بستر در رفتار سکو، آنالیز استاتیکی روی سکو با شیب های بستر متفاوت $\frac{1}{50}$ ، $\frac{1}{25}$ ، $\frac{1}{10}$ و $\frac{1}{5}$ تحت بارگذاری های مشابه انجام شده است. نتایج تحلیل با شیب بستر صاف مقایسه شده است که کاملاً اهمیت در نظر گرفتن شیب بستر در رفتار سکوها در یابی واضح است. از آنجاییکه تنش ژئواستاتیکی و مقاومت محرک در شمع های قرار گرفته در روبرو در مورد شیب بستر کاهش می یابد. افزایش در تغییر شکل جانبی شمع و ممان خمشی مهم است. در تحقیق حاضر، تأثیر صاف شدگی در پاسخ شمع در نظر گرفته شده است از آنجایی که خود بستر شیب دار در معرض پرتاب های جانبی می باشد. بنابراین تأثیر صاف شدگی ممکن است نقش مهمی در پاسخ شمع روی سطح شیبدار بازی نکند.

جابه جایی جانبی در برابر عمق برای شمع های LIP2، L1P3 و L2P2 و L2P3 به ترتیب در اشکال ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ (Fig 11, 12, 13, 14) نشان داده شده اند. از این اشکال، بسیار واضح است که شمع پشت پایه ۲، در تمام حالات شیب های بستر حداکثر جابه جایی جانبی را نشان می دهد. از این شکل ها، روشن است که جابه جایی شمع ها در شیب های بین ۰ و $\frac{1}{10}$ تغییر قابل توجهی ندارند. از این رو، افزایش در شیب های بالاتر از $\frac{1}{10}$ اثر زیادی در جابه جایی جانبی صرف نظر از مکان شمع دارد. همچنین فهمیده می شود که تأثیر شیب فقط در جابه جایی های جانبی را افزایش نمی دهد، این پدیده همچنین مواد رویی خاک را از بین می برد نسبت به

بستر با سطح خاک. این موضوع بسیار مهم است در ظرفیت محوری. از آنجاییکه ظرفیت محوری تخمین زده شده بر اساس مقاومت اصطکاک جانبی است در اینجا یک کاهش قابل توجه در اصطکاک داریم. برای مثال، در سطح بستر صاف جابه‌جایی جانبی در عمق ۲۸ متری قابل صرف نظر کردن است در حالی که این عمق در شیب بستر $\frac{1}{50}$ به ۴۲ متر می‌رسد. (Fig 11)

شکل ۱۵ (Fig 15) مقایسه جابه‌جایی جانبی با شیب‌های مختلف بستر را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که جابه‌جایی جانبی شمع‌ها در سطح بستر با افزایش شیب افزایش می‌یابد. این به علت این است که با افزایش در شیب بستر مقاومت محرک بسیج شده در روبروی شمع را کاهش می‌دهد همچنین ناپایداری شیب منجر به لغزش جانبی خاک بالایی به سمت شمع‌ها می‌شود. بر اساس آنالیزها، روشن است که شمع L2P3 بحرانی می‌باشد در مقایسه با شمع‌های دیگر. اگر ما به رفتار شمع L2P3 در شرایط شیب‌های متفاوت دقت کنیم، جابه‌جایی جانبی شمع در بستر با شیب $\frac{1}{5}$ نزدیک ۶ برابر بزرگتر از بستر صاف می‌باشد. در حالی‌که در شیب‌های $\frac{1}{15}$ به بالا اندازه جابه‌جایی به طور قابل توجه تغییر نمی‌کند. از مشاهدات ممکن است استنتاج شود که اگر شیب بستر صاف تر از $\frac{1}{25}$ باشد امکان صرف نظر کردن از تأثیر شیب وجود دارد و تغییر در طراحی شمع ایجاد نمی‌گردد. بنابراین شیب بستر تندتر از $\frac{1}{25}$ است، احتیاج است که تأثیر شیب بستر در طراحی شمع در نظر گرفته شود که این مسئله واضح است با دیاگرام نشان داده شده در شکل ۱۵ (Fig 15). توده لغزشی خاک (در موردی که شیب بستر تندتر باشد) سست تر خواهد شد و نیروهای کششی روی شمع‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابند همچنین ظرفیت باربری محوری شمع‌ها نیز به همین صورت خواهد بود. در طراحی عمومی شمع این جنبه خاص ممکن است همیشه در نظر گرفته شود و این موضوع ممکن است به جنبه بحرانی در طراحی شمع‌های دریایی موجود در شیب تبدیل شود.

Fig. 10 Diagram showing direction of slope introduced in seabed

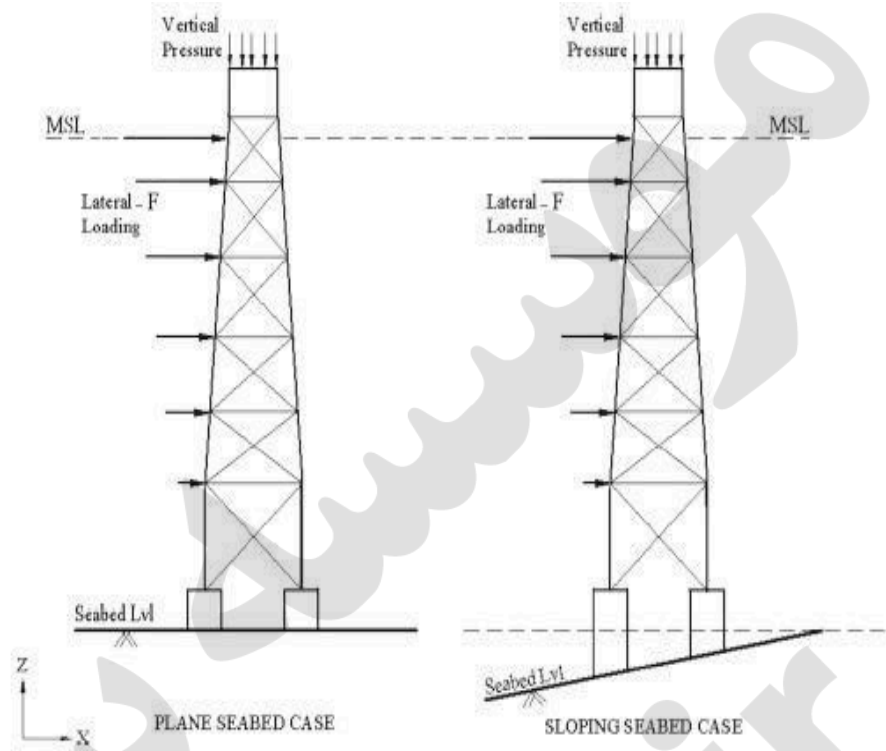


Fig. 11 Lateral displacement vs. Depth of pile (L2P3)

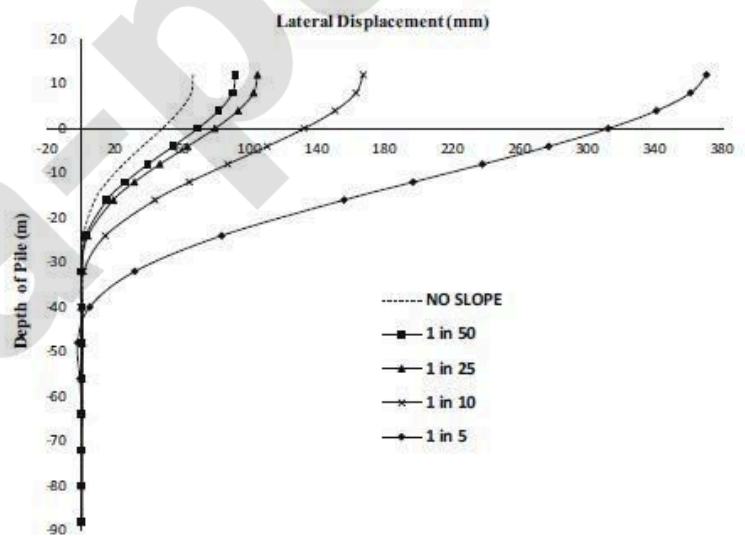


Fig. 12 Lateral displacement vs. depth of pile (L2P2)

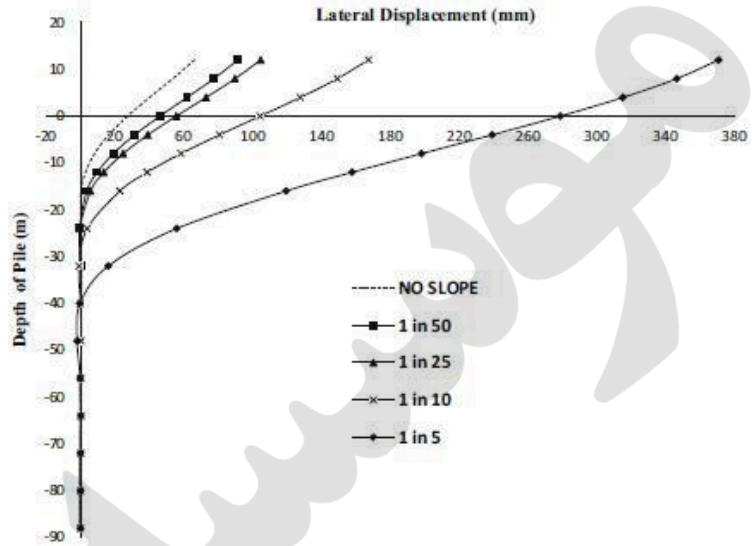


Fig. 13 Lateral displacement vs. depth of pile (L1P3)

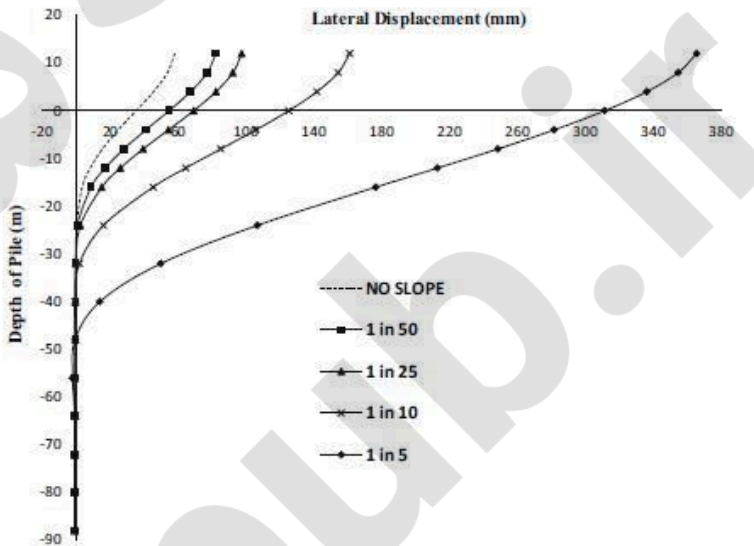


Fig. 14 Lateral displacement vs. depth of pile (L1P2)

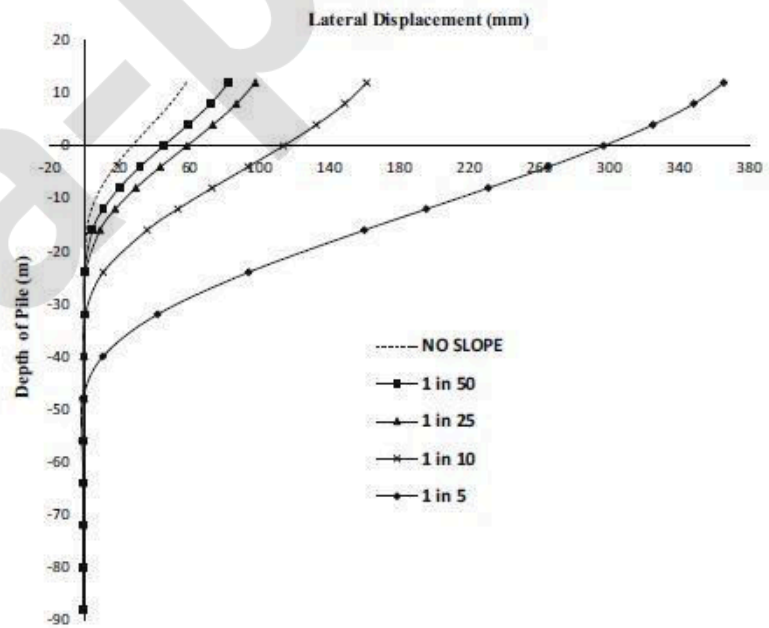
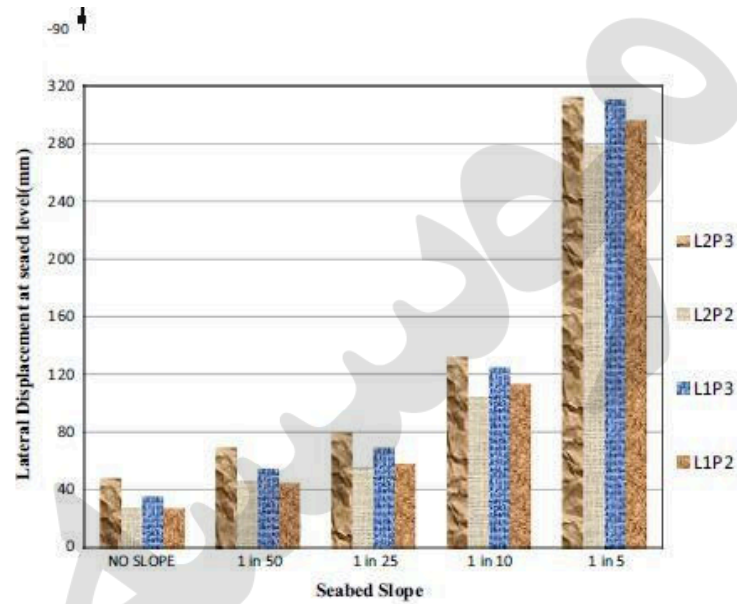


Fig. 15 Effect of seabed slope on lateral displacement of piles



۲-۹) تأثیر شیب بستر روی ممان خمشی:

عموماً شمع‌های طراحی شده برای ممان خمشی حداکثر می‌باشند. معمولاً شمع‌های با انتهای ثابت دارای دو ممان حداکثری خواهند بود. یکی در بالای شمع و دیگری از عمق‌های زیر بستر با زمین که معمولاً عمق ثابت شده است. عموماً، تنش خمشی گسترش داده شده در شمع باید در داخل محدوده مجاز تنش خمشی مواد شمع قرار گیرد و این موضوع نقش بسیار مهمی در پایداری شمع بازی می‌کند. به خاطر درک رفتار خمشی شمع‌ها نتایج ممان خمشی در مقابل عمق شمع رسم شده است. باری شمع‌های LIP2، L1P3 و L2P2 و L2P3 به ترتیب در اشکال ۱۶، ۱۸، ۱۷ و ۱۹ (Fig 16,17, 18,19) نشان داده شده‌اند. از این شکل‌ها روشن است که شیب بستر تأثیر مهمی روی ظرفیت تحمل خمشی شمع یا همان مقاوم دارد. که مقداری مستقیم است از پایداری سازه‌ای شمع.

شیب بستر تأثیر بسیار زیادتری روی ممان خمشی انتهای شمع در مقایسه با ممان در قسمت باعمل ثابت شده دارد. از آنجاییکه مقاوم محرک در بستر شیب دار کاهش می‌یابد تأثیر خیلی زیادی روی ممان انتهای شمع دارد به علاوه برای بار جانبی اضافه شده به علت حرکت جانبی خاک در شیب‌های تندتر است. شیب بستر فقط روی ظرفیت خمشی مقاوم در بالای شمع تأثیر ندارد بلکه تأثیر مهمی روی عمق ثابت شده دارد.

همانطور که می دانیم، در طراحی متعارف شمع، شمع به عوان یک تیر کانتیلور طراحی می شوند با دانستن عمق قرار گرفتن شمع. اگر شیب از حالت صاف به $\frac{1}{5}$ تغییر کند، عمق ثابت شده تا ۲ برابر در مورد شمع L2P3 افزایش می یابد. (Fig 16) نوع مشابه رفتار مشاهده شده در تمام شمع ها تقریباً دیده می شود. این نشان می دهد که ممان گسترش یافته امکان نزدیک شدن به مقاومت خمشی شمع را دارد یا گاهی اوقات ممکن است بیشتر از مقاومت خمشی گردد که منجر به ترک عضوهای شمعی و ناپایداری سکو گردد.

شکل ۲۰ (Fig 20) مقایسه ممان خمشی ماکزیمم با شیب های متفاوت بستر را نشان می دهد. مشاهده می شود که ممان خمشی حداکثر گسترش می یابد به طوریکه با افزایش شیب افزایش داریم. تغییرات ممان خمشی حداکثر تأثیر زیادی در شیب های صاف تر از $\frac{1}{10}$ ندارد و در شیب های تندتر از $\frac{1}{10}$ ، تغییرات ممان خمشی حداکثر با تغییر شیب بسته تغییرات قابل توجهی دارد. همچنین مشاهده می شود که تأثیر شیب تندتر در تغییرات رفتار شمع های در پشت قرار گرفته و در روبرو صرف نظر شده است. اندازه L2P2 و L2P3 تقریباً برابر است در حالیکه این مسئله تغییرات اندکی در پایه ۱ در شیب های تندتر از $\frac{1}{5}$ دارد.

Fig. 16 Bending moment vs. depth of pile (L2P3)

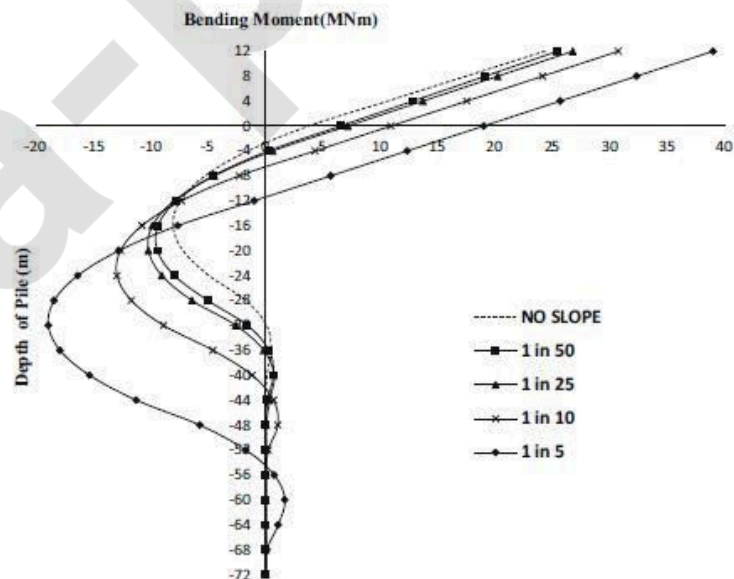


Fig. 17 Bending moment vs. depth of pile (L2P2)

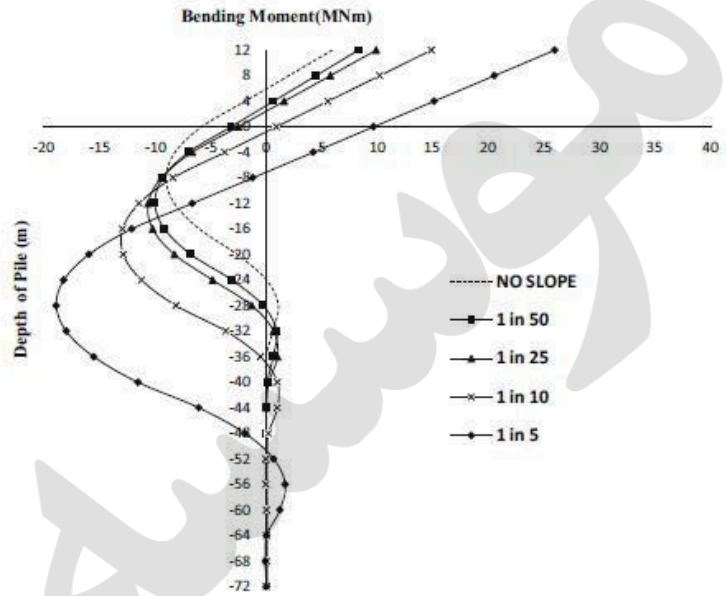


Fig. 18 Bending moment vs. depth of pile (L1P3)

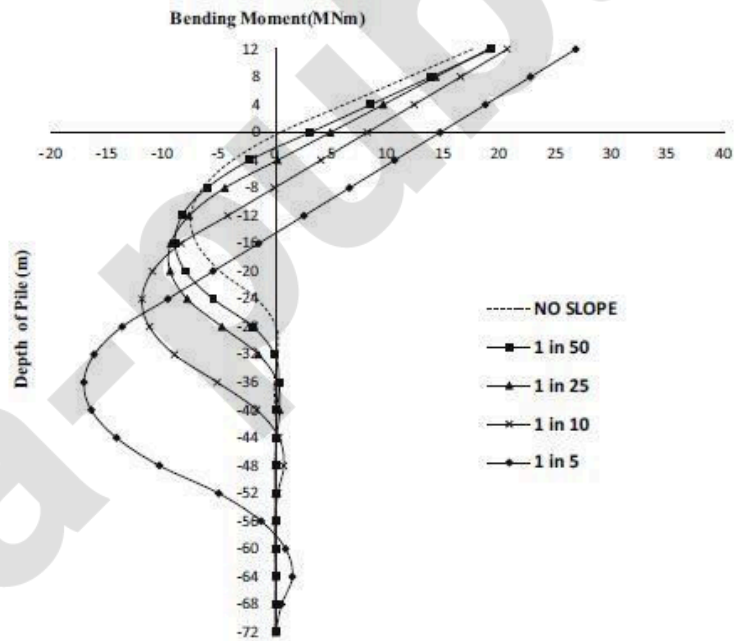


Fig. 19 Bending moment vs. depth of pile (L1P2)

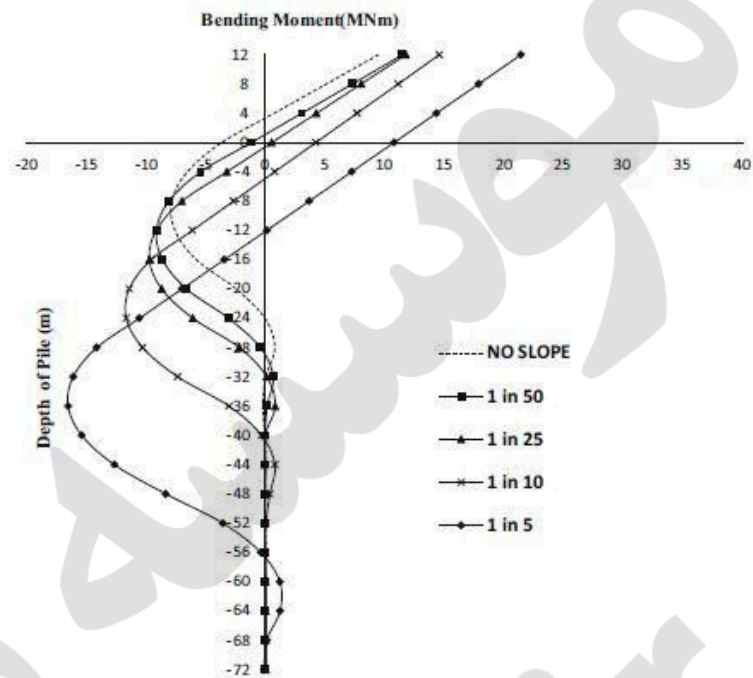
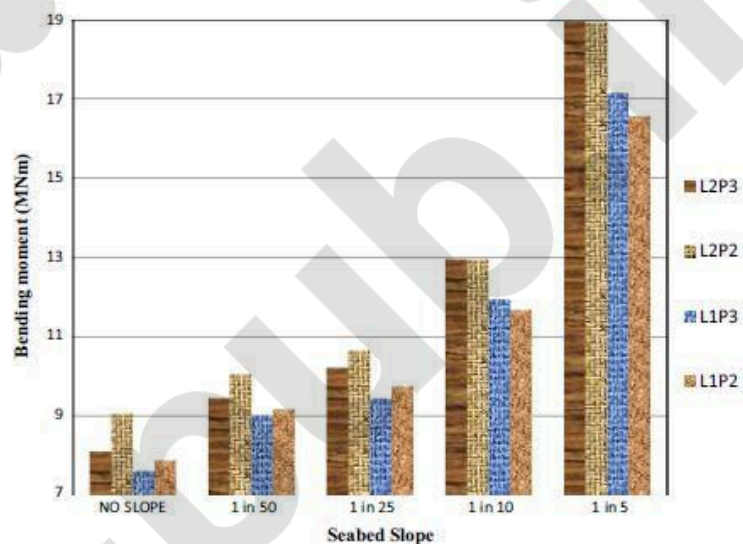


Fig. 20 Effect of seabed slope on maximum bending moment of piles



۱۰) نتیجه گیری

یک مدل تفاضل محدود ۳ بعدی روی سکوی دریایی ژاکتی ثابت مدل کرده شده است و ضریب اطمینان معتبر توسط مصطفی و ناگار (Mostafa and Nagar) در نظر گرفته شد. از این تحلیل این مسئله خیلی واضح است که شیب بستر دارای اثر قابل توجهی روی طراحی شمع دریایی در موارد جابه جایی و ممان خمشی دارد. نتیجه های مهم بدست آمده از مقاله بالا آورده شده است:

- از تحلیل، استنباط شد که، اگر شیب بستر ملایم تر از $\frac{1}{20}$ باشد، شیب بستر امکان دارد تأثیر زیادی در رفتار شمع نداشته باشد و از این رو شیب های ملایم تر در شرایطی به عنوان شیب صاف رفتار می کند و طراحی شمع نیز بر همین اساس انجام می شود.
- شیب های تندتر نه تنها روی رفتار جانبی شمع تأثیر گذارند بلکه روی ظرفیت باربری محوری تأثیرگذار است از آنجایی که در شیب های تندتر تا عمق های بالاتر از ۴۰ تا ۴۵ متر اختلال ایجاد می شود در حالیکه این برای بسترهای صاف حدود ۲۵ متر می باشد.
- در شیب های تندتر بستر (شیب $\frac{1}{5}$)، شمع ها امکان دارد ممان های خمشی تا ۲ برابر بیشتر از شرایط با بستر صاف تحمل نمایند. این روند احتیاج به در نظر گرفتن شیب بستر در طراحی شمع را نشان می دهد.
- شیب های تندتر بستر به طور قابل ملاحظه ای روی عمق ثابت شده تأثیر می گذارد. در شیب $\frac{1}{5}$ عمق ثابت شده شمع دو برابر عمق ثابت شده در شرایط با بستر صاف می باشد. در نتیجه اندازه ممان خمشی نیز دو برابر می شود.
- از تحلیل روشن است که شیب تندتر (شیب های تندتر از $\frac{1}{5}$) تغییرات در رفتار شمع روبرو قرار گرفته و پشت قرار گرفته را صرف نظر می کند. اندازه L2P2 و L2P3 در شیب های تندتر تقریباً برابر هستند در حالیکه در شرایط بستر صاف این تغییرات قابل توجه هستند. بنابراین استنباط می شود که روند خاصی در طراحی شمع های دریایی باید مدنظر قرار بگیرد.