



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

# پاسخ دوره ای جانبی پی های شمعی در سکوهای دریایی

## Cyclic lateral response of pile foundations in offshore platforms

Mohammad Mahdi Memarpour<sup>a</sup>, Mehrdad Kimiaei<sup>b,\*</sup>, Mohsenali Shayanfar<sup>a</sup>, Mostafa Khanzadi<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Civil Engineering Department, Iran University of Science and Technology, Daneshgah St., Hengam Ave, Resalat Square, Narmak, Tehran 16846-13114, Iran

<sup>b</sup> Centre for Offshore Foundation Systems, The University of Western Australia, 35 Stirling Highway Crawley, WA 6009, Australia

## چکیده

سکوهای ثابت دریایی حمایت شده با پی های شمعی به علت شرایط طبیعی همیشه در معرض بارهای جانبی دوره ای هستند.

عمدتاً ، اندرکنش غیر خطی شمع خاک مهمترین منبع پاسخ غیر خطی سکوهای دریایی می باشد به علت طراحی بارهای محیطی . مدل های اجزا محدود در شبیه سازی مسائل اندر کنش شمع و خاک دارای بیشترین دقت هستند. اگر چه این آنالیزها معمولاً پیچیده و دارای محاسباتی گران هستند.

در مقابل **Beam on nonlinear winkler fonudatian** (BNWF) مدل های جامع، کارآمد و دارای دقت کافی هستند .

در این مقاله یک مدل جدید عملی و قوی BNWF برای بیان رفتار جانبی پی های شمعی تحت بار دوره ای جانبی آورده شده است. این مدل اندرکنش دوره ای خاک - شمع **incorrrated as a user** یک المان در داخل برنامه عمومی المان محدود آباکوس (Abaqus) و می تواند به آسانی برای آنالیزهای مقاومتی غیر خطی پیچیده ی سکوهای ثابت استفاده شود.

بارگذاری یکنواخت یا دوره ای، آرایش و توسعه شکاف ، نیروی کششی و منحنی های معکوس متفاوت توصیه شده به وسیله انستیتو ونت آمریکا می تواند به آسانی در این مدل BNWF استفاده شود. این مقاله به تأثیرات اندرکنش دوره ای خاک شمع روی پاسخ دوره ای پی های دریایی می پردازد.

قسمت های مختلف این مدل BNWF بحث شده و در جزئیاتی آدرس داده شده است. رفتارها در یک نمونه سکوی ثابت دریایی تحت بارهای دوره ای یکنواخت بررسی می شود.

## ۱. مقدمه

تکیه گاه شمع های سازه های ساحلی و دریایی موجود در رسوبات دریایی همیشه در معرض بارهای جانبی بزرگ هستند. معمولاً، نیروهای جانبی بحرانی روی شمع هایی که در سازه های ساحلی استفاده می شوند به علت نیروهای **Berthing and mooring** (ناشی از پهلوگیری کشتی ها و لنگر انداختن ها) است. با در نظر گرفتن اینکه شمع هایی که در سکوه های قالبی دریایی هستند در معرض نیروهای جانبی ناشی از امواج می باشند.

غیرخطی بودن رفتار تنش کرنشی خاک و هندسه ی غیرخطی، از قبیل لغزش و گسستگی بین شمع و خاک فاکتورهای غالب و مهم پاسخ شمع هستند.

بی (Bea) یک سری آنالیزهای استاتیکی تحت فشار زیاد روی سکوه های ثابت دریایی انجام داد و نشان داد که در ابتدا ۹ اتفاق (رویداد) غیر خطی در پی های شمعی متمرکز شده است. اندر کنش غیر خطی خاک - شمع (PSI) یکی از پارامترهای اصلی است که می تواند در تمامی جنبه های پاسخ تکیه گاهی سازه اثری عمیق داشته باشد.

آنالیز پاسخ جانبی شمع در ۳ جنبه و روش متمایز طبقه بندی می شود :

- روش آنالیزروی که در آن عکس العمل نهایی با فرض جابجایی نهایی شمع کشیده شده است .

- المان محدود (FE) یا المان مرزی (BE) روش های با اساس پیوسته هستند که محاسباتی زیاد و در واقع خیلی سخت دارند .

- روش های خطی و غیر خطی فنر **winkler** که پایه آن منحنی های **p-y** می باشد .

در واقع شیوه های عددی ، روش های المان محدود (FE) و المان مرزی (BE) قابل استفاده برای حل مسائل اندرکنش شمع - خاک که در آن خاک اطراف شمع را فرا گرفته و سطح مشترک شمع - خاک روی هم در یک طرح جامع مدل می شوند. یگبان و رایت (yegian and whright) رندولف (Rangolph) ، تروچانیس و همکاران (trochanis et al) و بنتلی (Bently) و ال ناگار (El Naggar) از روش المان محدود (FEM) استفاده کردند ، همچنین کی نیا و کارسل (Kaynia and Karsal) و سن و همکاران (Sen et al) روش المان مرزی (BEM) را برای آنالیز پاسخ شمع به کار برده اند. میلیان و دومینگز (Millan and Dominguce) و پادرون و همکاران (Padron et al) از هر دو روش المان محدود و المان مرزی برای پاسخ دینامیکی تکیه گاه شمعی سازه ها تحت تحریک هارمونیک زمانی استفاده کرده اند.

مدل های بیان شده تا به محاسبه اندرکنش دینامیکی شمع - خاک در یک حالت مشکل هستند .

تکنیک های ۳ بعدی المان محدود و المان مرزی نیاز به انجام محاسبات فراوان برای آنالیز اندرکنش بین شمع و خاک می باشد و به همین علت خیلی اوقات در شیوه های منحصری از آن استفاده نمی

شود. مدل تفکیک شده شمع - خاک ، شکل ترک و شکاف، توسعه ترک و دیگر تداخلات غیرخطی می

تواند در مدل هایی که اساس پیوستگی دارند استدلال گردد. (Continuum - based models)

به علاوه ، مدل های ۳ بعدی الاستوپلاستیک المان محدود یا المان مرزی اندرکنش شمع - خاک در

ساختارهای تجاری در دسترس نمی تواند به آسانی ترکیب شود و برای محاسبه پاسخ های جانبی

سکوهای دریایی برنامه ریزی گردد.

مدل های BNWF از لحاظ محاسباتی کارآمد هستند و یک مدل عملا جامع را به ما می دهند و برای هر

دو مخصوصا متخصص در طراحی صنعتی و همچنین در آکادمی ها برای اهداف طراحی کارآمد می

باشند. بزرگترین استفاده این روش در مقایسه با مدل هایی که پایه - پیوسته می باشند و دائما موضوع

گسترش و اصلاح بیشتری می باشند .

فرض های BNWF که رفتار اندرکنش شمع - خاک و نیروهای پدیدار شده در هر لایه خاک فقط

مربوط به جا به جایی خاک در عمق ها و جهت های برابر می باشد. از این رو این مدل با مدل کردن

خاک به وسیله فنرهای جدا کننده در طول محور شمع آسان می گردد.

ماتلوک و همکاران (Matlock et al) ، ماکریس و گزتاس (makris and Gazetas) ، نوگامی و

همکاران (Nogami et al) و ال ناگار و نواک (El Naggar and Novak) چندین فرضیه روی مدل

BNWF پیشنهاد کرده اند.

تروچانیس (Trochanis et al) مدل BNWF را با تأثیر ویسکوپلاستیک روی مطالعه رفتار اندرکنش در شرایط شبه استاتیکی و استاتیکی سازگار کرد.

بادونی و ماکریس (Badani and Makris) چندین تجربه آزمایشگاهی را برای مقایسه نتایج با مدل تروچانیس به کار بستند.

وانگ و همکاران (Wang et al) چندین آرایش برای برای فنرهای غیرخطی و یک میراگر موازی پیشنهاد کردند تا مسئله میرایی مدل های اندرکنش شمع - خاک BNWF را بررسی کند که عمدتاً در مطالعات ارتعاشی استفاده می شود. بولانگر و همکاران (Boulanger et al) یک مجموعه فنرهای موازی مثل میراگر پیشنهاد کردند تا رفتار غیر خطی خاک، شکل شکاف در خاک های چسبنده، نیروی کششی و میرایی خاک در مدل های BNWF را ترکیب کند.

کیمیایی و همکاران (Kimiaei et al) اصلاحات بیشتری را در یکپارچه کردن غیر خطی بودن خاک و شکل شکاف در آنالیز دینامیکی مدل های اندرکنش شمع - خاک پیشنهاد کردند یک مدل عددی و مقایسه آن با تجارب آزمایشگاهی روی خاک های دانه ای خوب دانه بندی شده گسترش دادند. گرولیموس و همکاران (Gerolymos et al) .

واترسپون و همکاران (Wotherspoon et al) یک مدل ساده BNWF و فوق العاده برای گسترش شکاف برای باغ یکنواخت و دوره ای شمع ها در شرایط خاک منجمد با حرارت استفاده کردند. در این

مطالعه از اطلاعات آزمایشات CPT و فشاری ساده استفاده شده است. منحنی های دو سویه خاک با فنر گسترش داده شده تا مدل های پسماند خاک را نشان دهد. در حالت کلی، فرض های همراه با مدل های BNWF (خصوصاً تقسیم رفتار خاک به لایه های مختلف و جهت های مختلف) به صورت بالقوه می تواند منجر به کاستی هایی در نتایج گردد.

برای مثال نوشته شده توسط کنوک و فرج (Konuk and Fredj) و فرج (Fredj and et al). مدل های BNWF برای آنالیز هر لوله نسبت به ضریب فنریت خاکها بسیار حساس هستند و می توانند یک نتایج محافظه کارانه بدهند. در استفاده از مدل های BNWF برای مسائل مختلف و تعریف عناصر و پارامترهای مدل باید دقت کافی صورت گیرد. دیگر روش های تقریبی غیر خطی با فلسفه های مختلف در گذر زمان گسترش داده شده اند مثل روش بلومس (Blums Method) ، روش مثلث گرش

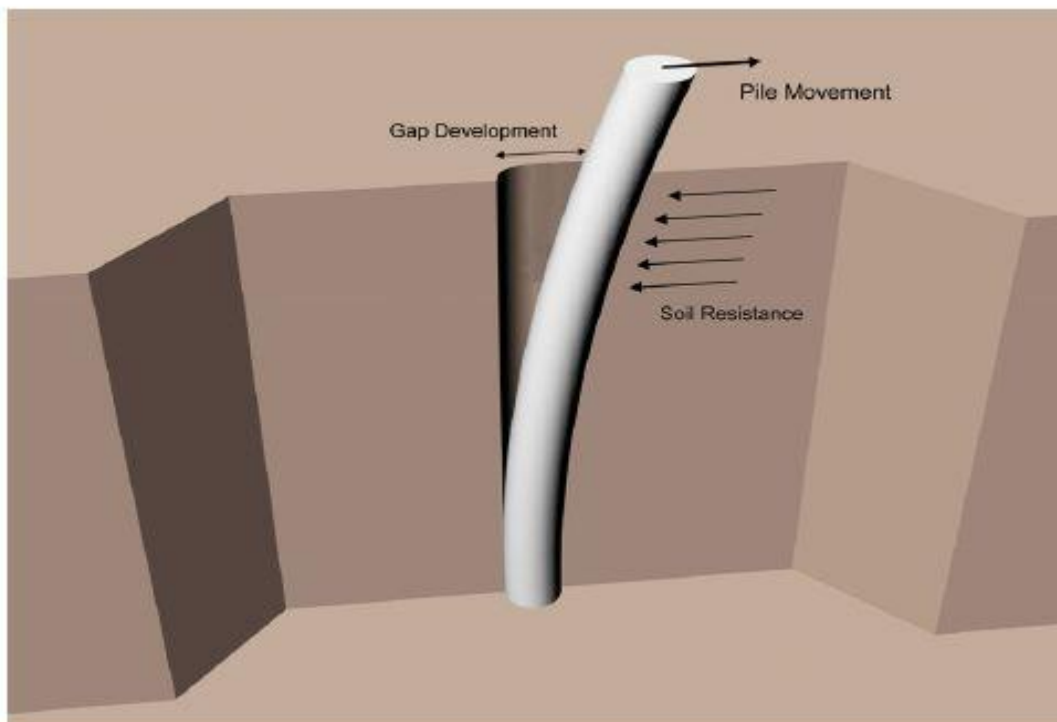
(Strain wedge method) این روش ها می توانند در بعضی موارد مهندسی به اندازه کافی کارآمد باشند. مدل های BNWF هنوز محبوب ترین مدل ها برای مسائل اندرکنش شمع - خاک در مسائل علمی مهندسی هستند و می توانند به نتایج قابل منجر شوند.

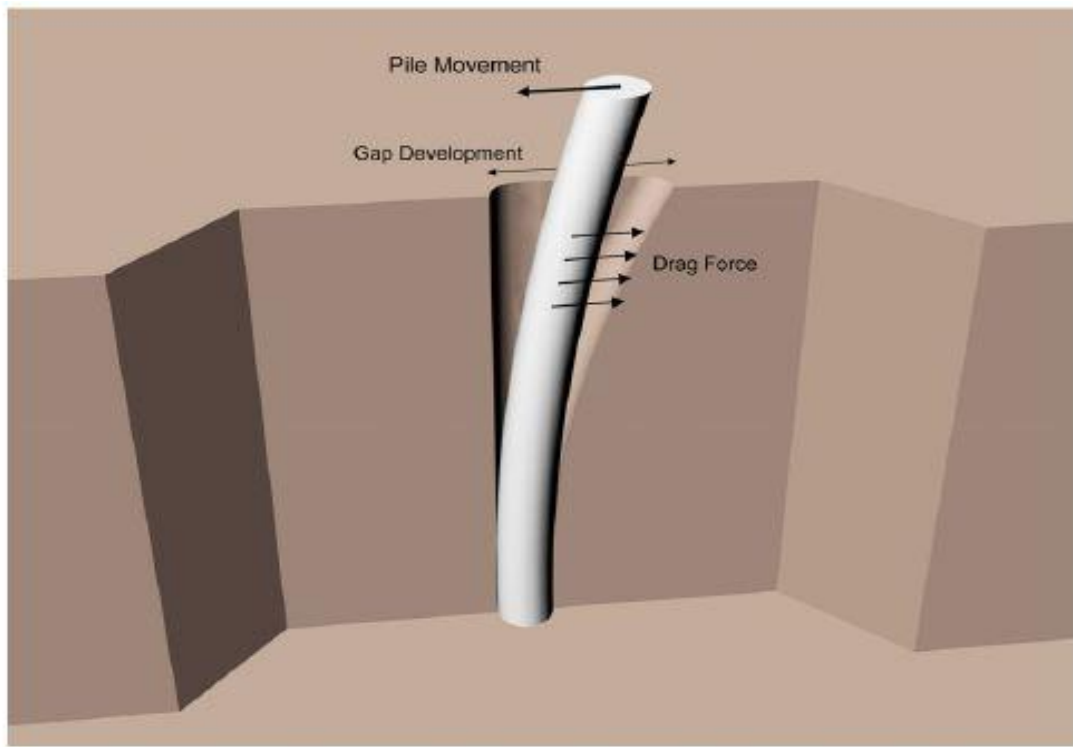
مدل های BNWF برای مسائل اندرکنش شمع - خاک به منحنی های نیرو - جابه جایی (شناخته شده با  $p-y$  یا  $t-z$ ) برای لایه های خاک نیاز است. این منحنی ها برای لایه های خاک رس نرم، رس سخت و رس آورده شده در خطوط راهنمای API برای آنالیز و طراحی سازه های دریایی.



در این مقاله، یک مدل عملی و تری BNWF برای یکپارچه کردن رفتار دوره ای شمع ها تحت بارهای دوره ای جانبی پیشنهاد شده است.

نرم افزار المان محدود در دسترس آباکوس (ABAQUS) برای توسعه این مدل استفاده شده است. یک مطالعه تفصیلی روی پاسخ پی های شمع تحت شرایط بارگذاری دوره ای یکنواخت و دوره ای با یک آنالیز دقیق انجام شده است که از یک سری ضرایب کششی بر خلاف پارامترهای طراحی مناسب به کار بسته شده است.





**Fig. 1.** Gap development and applied lateral forces on a pile during lateral deflections.

## ۲- شرح مدل

مدل های استفاده شده در آنالیز پاسخ سازه ای شمع ها تحت بارهای دوره ای باید تغییر مشخصات خاک با عمق رفتار غیر خطی خاک و رفتار تداخلی غیر خطی شمع - خاک را در نظر بگیرد.

به صورت کلی آنالیز صحیح شمع ها تحت بارهای دوره ای جانبی مدل کردن شمع، احاطه شمع با خاک اطراف آن و شرایط گسستگی در سطح مشترک شمع خاک را شامل می شود. در این مطالعه، شیوه BNWF استفاده شده پاسخ دوره ای شمع های دریایی را تحت بار امواج بررسی می کند.

ترکیب کلی پیشنهاد شده BNWF اساس مدل بیان شده توسط بالانگر و همکاران (Boulanger et al) است.

به طوری که در (شکل ۱) نشان داده شده است مقاومت لایه های خاک دست نخورده در برابر حرکات شمع، گسستگی بین شمع و خاک (شکل شکاف و گسترش آن) و مقاومت خاک زمانی که شمع در ناحیه شکاف گسترش یافته قبلی حرکت می کند (نیروی کششی) بخش های اصلی مدل BNWF هستند. در این مدل BNWF شمع مثل یک سری المان های گسسته ی تیر - ستون ثابت روی یک سری فنرهایی که رفتار غیر خطی خاک را بیان می کنند مدل شده است.

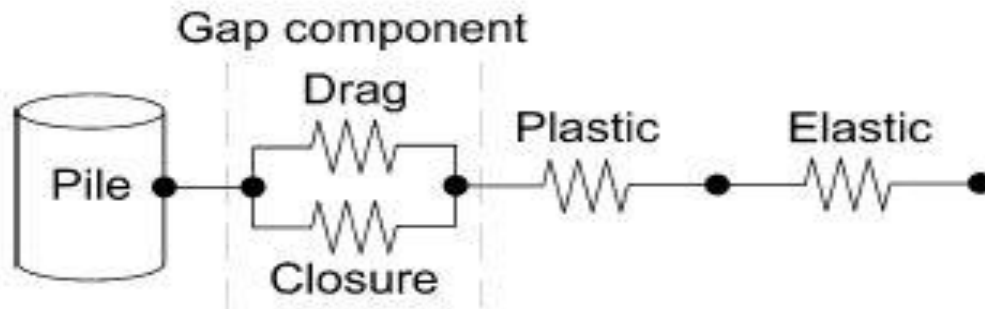


Fig. 2. BNWF spring components (Boulangier model [20]).

شکل ۲ (Fig.2) بخش اصلی مدل BNWF را نشان می دهد: فنر الاستیک ( $P-y^e$ )، فنر پلاستیک ( $P$ )

و بخش شکاف ( $P-y^g$ ) که در یک سری آرایش ها به هم متصل شده اند. بخش مرزی (gap) شامل

یک فنر غیر خطی محصور ( $P^c - P^s$ ) موازی با یک فنر کششی غیر خطی ( $P^d - P^g$ ) که:

$$P = P^d + P^c \quad (1)$$

$$y = y^e + y^p + y^g \quad (2)$$

جزئیات اطلاعات در مورد مشخصات سازه ای این اعضا را می توان در تحقیقات بولانگر و همکاران

(Boulangier et al) یافت. فنر الاستیک دارای یک مقاومت ثابت است که از مشخصات خاک تعیین

می گردد و همیشه به صورت خطی عمل می کند، در حالی که فنر پلاستیک دارای دو فاز رفتاری است،

فاز اول زمانی که  $cr.p_{ult} < P < cr.p_{ult}$  - که فنر پلاستیک به صورت صلب عمل می کند.

Cr ضریبی از  $\frac{P}{p_{ult}}$  است هنگامی که تسلیم اول در بارگذاری خاک که هنوز دست نخورده است اتفاق

می افتد. رفتار پلاستیک فنر در فاز دوم اتفاق می افتد که به صورت زیر فرموله می شود:

$$P = p_{ult} (P_{ult} - P_0) \left[ \frac{cy_{50}}{cy_{50} + [y^p - y^p]} \right]$$

که در آن  $p_{ult}$  مقاومت نهایی خاک می باشد ؛  $P_0 = P$  و  $y^p = y^p$  که هر دوی آنها در اول چرخه بارگذاری دوره ای کنونی می باشد. ضرایب  $C$  و  $N$  به ترتیب مدول کنترل تانژانسی فنر پلاستیک و دقت منحنی می باشند.  $y_{50}$  میزان جابه جایی در زمانی است که ۵۰ درصد  $P_{ult}$  در طول بارگذاری استاتیکی اعمال می گردد.  $p_{ult}$  ظرفیت نهایی جانبی لایه های خاک نشان داده شده و در طول هر مرحله بارگذاری مدل BNWF آپدیت می شود. فنر غیر خطی کششی در عضو مرزی (شکاف) می تواند به صورت زیر تعریف شود :

$$P^d = C_d p_{ult} - (C_d p_{ult} - P_0^d) \left[ \frac{y_5}{y_5 + 2|y^g - y^g|} \right]$$

که  $C_d$  بر اساس ماکزیمم نیروی کششی بر طبق مقاومت نهایی خاک تعیین می شود.  $P_0^d = P^d$  و  $y_0^g = y^g$  در شروع بارگذاری دوره ای کنونی است. فنر کششی زمانی که یک نیروی ثابت در ناحیه شکاف است ظاهر می شود و زمانی که شکاف بسته می شود این فنر غیر فعال می شود. بنابراین به صورت یک فنر الاستیک و پلاستیک فعالیت می کند. برای انتقال های مداوم بین عضوهای فعال یک فنر محصور فراهم شده است در یک آرایش موازی با فنر کششی . در فنر محصور  $y_0^+$  و  $y_0^-$  در معادله (۵) تعریف شده است.

مقادیر اولیه  $y_0^+$  و  $y_0^-$  به ترتیب مثل  $\frac{y_{50}}{100}$  و  $-\frac{y_{50}}{100}$  تنظیم هستند. نهایتاً زمانی که  $y^g$  به اندازه چرخه قبلی افزایش پیدا کند، شکاف در حقیقت به ترتیب متشابهها بسته می شود و بخش شکاف (مرزی) به علت افزایش شدید در سختی و نیرو غیر فعال خواهد شد.

$$P^c = 1/8P_{ult} \frac{y_5}{y_5 + 5(y_0^+ - y^g)} - \frac{y_5}{y_5 - 5(y_0^- - y^g)}$$

ارتجاعی بودن معادله بالا می تواند به صورت تقریبی در سختی های معکوس  $p-y$  متفاوت استفاده شود.

مدل BNWF در این مقاله گسترش داده که به آن اندرکنش دوره ای شمع خاک (CPSI) گفته می شود که در مدل کردن رفتارهای Hysteretic لایه های خاک توانا است مطابق با سختی های معکوس

$p-y$  دوره ای و استاتیکی که در آئین نامه API آورده شده است.

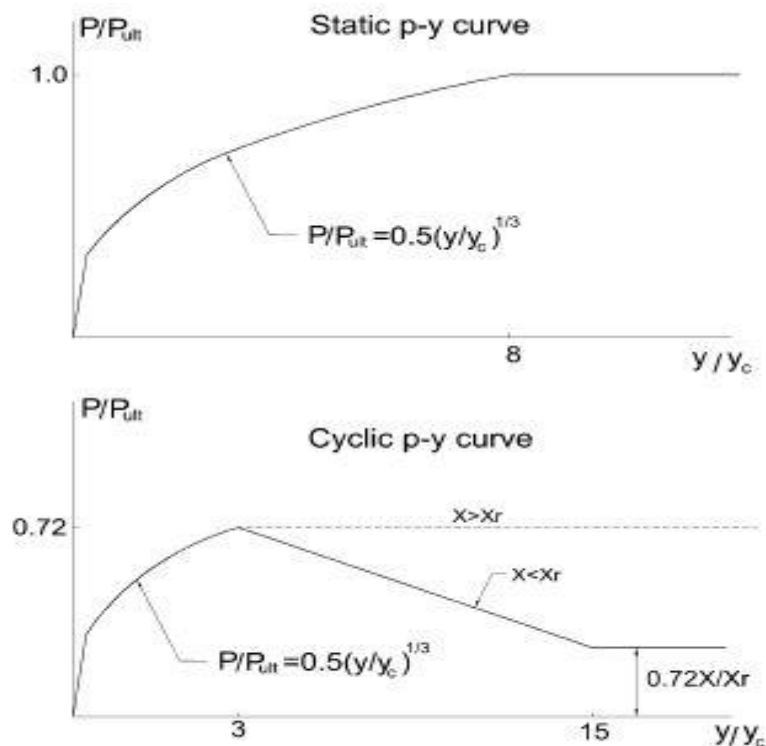


Fig. 3. Static and cyclic  $p-y$  curves as per API recommendations [31].

شکل ۳ (Fig.3) منحنی های  $p-y$  استاتیکی و دوره ای API مربوط به لایه های رس نرم را نشان می دهد. مدل CPSI می تواند رفتار جانبی شمع های تحت بارهای دوره ای و استاتیکی و به علاوه اثر شکاف و نیروی کششی روی شمع را در بر بگیرد. نوع خاک (رس یا ماسه) ،  $P_{ult}$  ،  $\gamma_5$  ،  $C_d$  و  $\frac{x}{x_r}$  (ضریب عمق برای کاهش ناحیه مقاومت مطابق API) داده های ورودی اصلی برای لایه ها در CPSI هستند. نوعی رفتار نیرو تغییر شکلی برای قسمت های اصلی مدل CPSI به ترتیب برای منحنی های  $p-y$  استاتیکی و دوره ای API در شکل ۴ و شکل ۵ (Fig4 and 5) نشان داده می شوند.

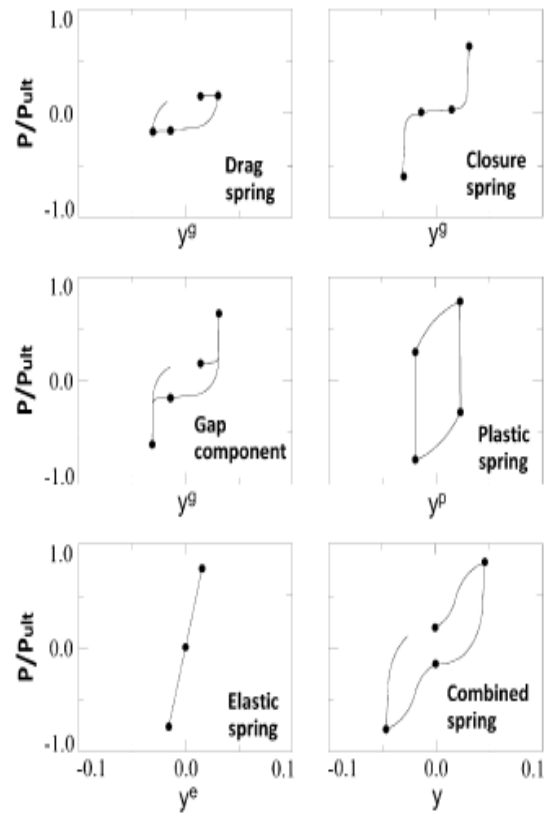


Fig. 4. Behaviour of CPSI components under cyclic loads using API static  $p-y$  curves.

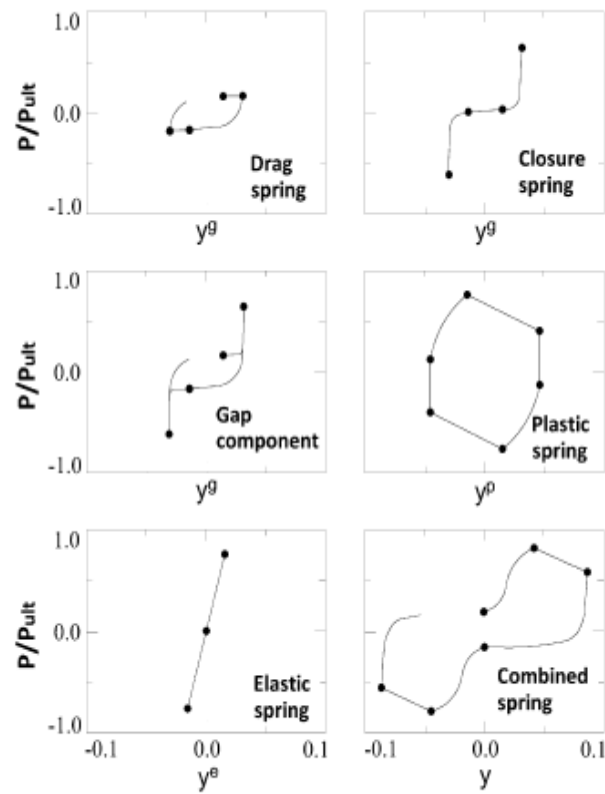


Fig. 5. Behaviour of CPSI components under cyclic loads using API cyclic  $p-y$  curves.



مدل CPSI به عنوان یک گره جدا در المان به کار رفته در نرم افزار المان محدود ABAQUS به کار بسته می شود. یک پارت خلاصه برای المان به کار رفته در CPSI در شکل ۶ (Fig.6) بیان شده است. مدل CPSI عمدتاً برای آنالیز مقاومت نهایی تکیه گاه های شمعی سکوها تحت بار دائمی امواج گسترش داده شده است. کاربر CPSI به راحتی می تواند بین بارگذاری یکنواخت (افزایش تدریجی بار از صفر تا ماکزیمم بدون گسترش شکاف) و بارگذاری دوره ای (بارگذاری متغیر با زمان) تعویض کند. بارگذاری دوره ای منجر به ایجاد شکاف می شود و گسترش شکاف در لایه های خاک های چسبنده است.

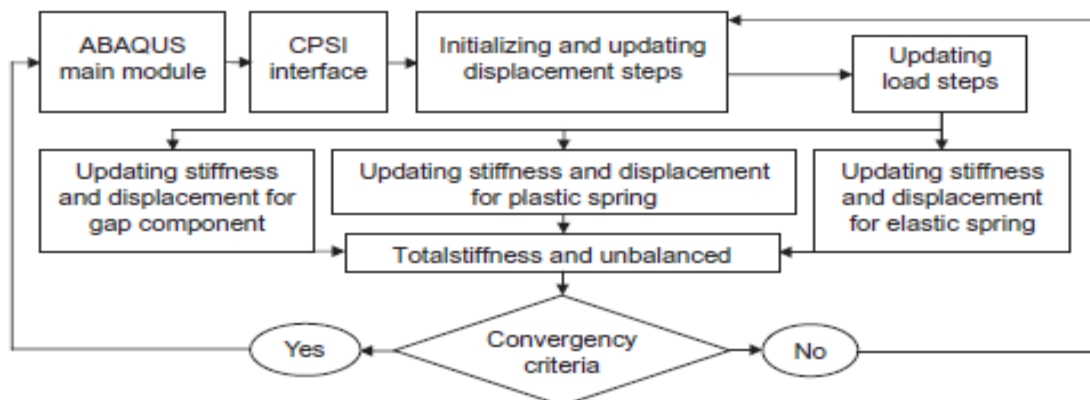


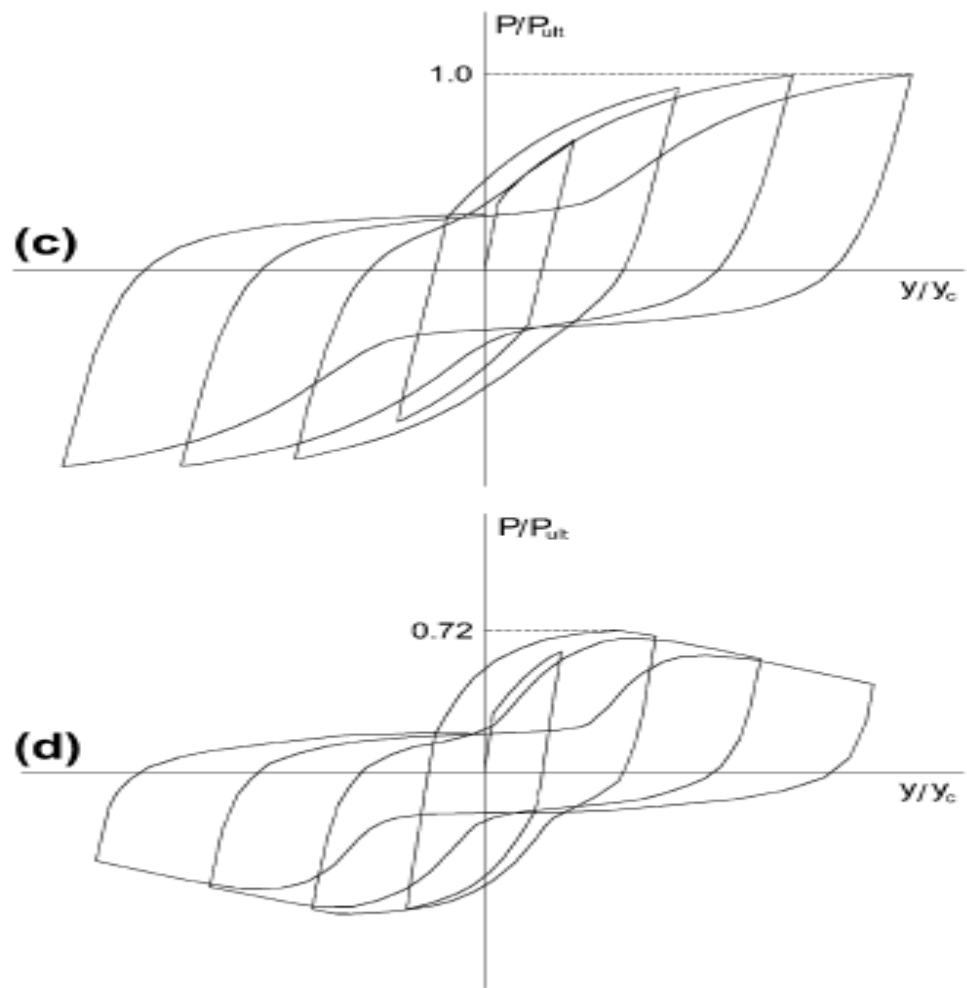
Fig. 6. Brief flow chart of CPSI user element in ABAQUS.

منحنی  $p-y$  استاتیکی و دوره ای API می تواند به عنوان منحنی های پایه برای هر نوع شرایط بارگذاری استفاده گردد. کاربر می تواند اندازه تعداد نیروی کششی را تا مقدار مطلوب تغییر دهد. برای شبیه سازی کردن شرایط CPSI در یک مدل ABAQUS شمع و خاک اطراف آن به تعداد محدودی لایه تجزیه می شود. بخش های شمع به وسیله دو گره استاندارد المان تیر - ستون مدل می شود.

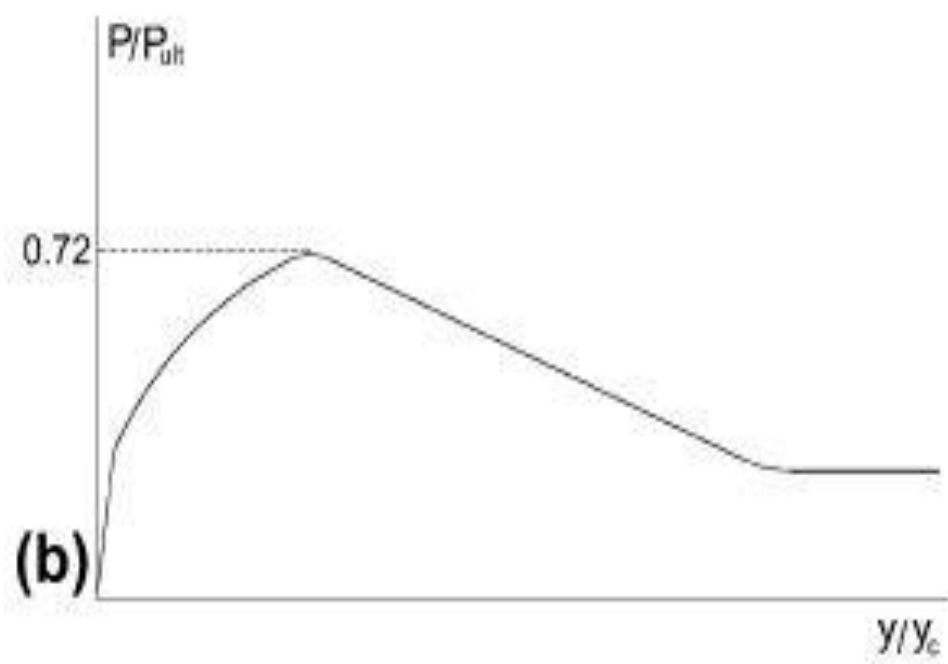
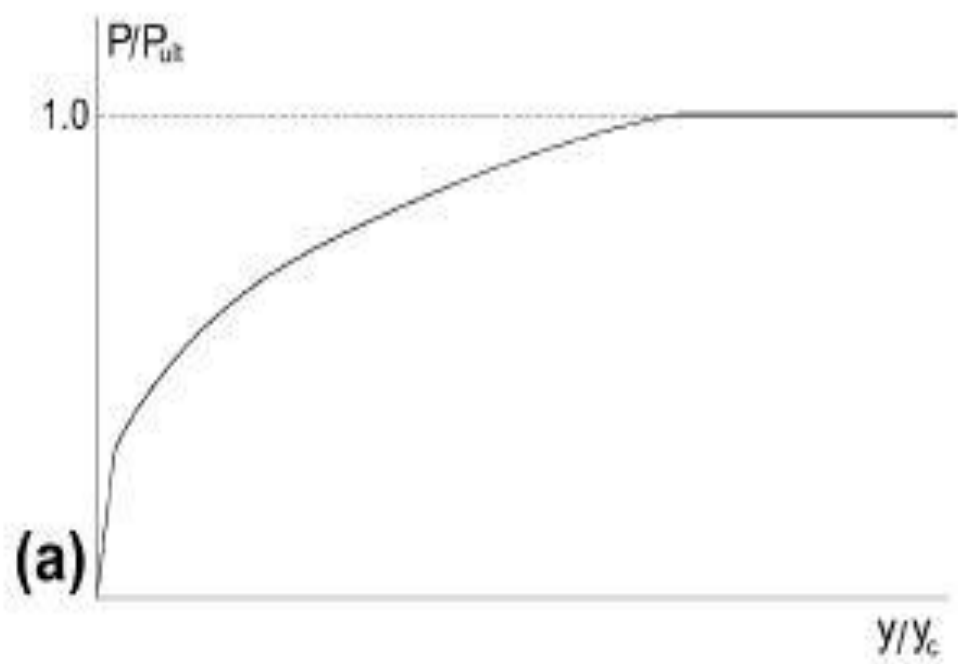
المان به کار برده شده CPSI به صورت رفتار اندرکنش شمع - خاک نمایش داده می شود که برای هر زیر لایه استفاده می شود و سختی آن برای هر گام بارگذاری بعدی بر اساس نتایج تغییر شکل خاک آپدیت می شود. یک زیر روال معین در CPSI برای همگرایی حل های عددی به کار برده شده است. در این زیر روال ، جابه جایی های بزرگ شمع به هر افزایش بارگذاری وابسته است که به بعضی جابه جایی های داخلی کوچکتر تقسیم خواهد شد و سپس مشخصات خاک در هر کدام از این زیر افزایش ها آپدیت خواهد شد. در این روش نیروهای نامتعادل کوچک در انتهای هر افزایش فراهم شده است و از این رو به داشتن یک برنامه قوی برای غیر خطی بودن شمع - خاک در برنامه های نرمالیزه شده دیگر کمک خواهد کرد. نهایتاً سختی خاک به وسیله CPSI با قرار دادن در یک ماتریس سختی کل سیستم در آباکوس ABAQUS برای اجرای مدل مشابه محاسبه خواهد شد. جزئیات اطلاعات بیشتر درباره الگوریتم المان های CPSI و ارزیابی آن می تواند در معمار پور و همکاران یافت شود.

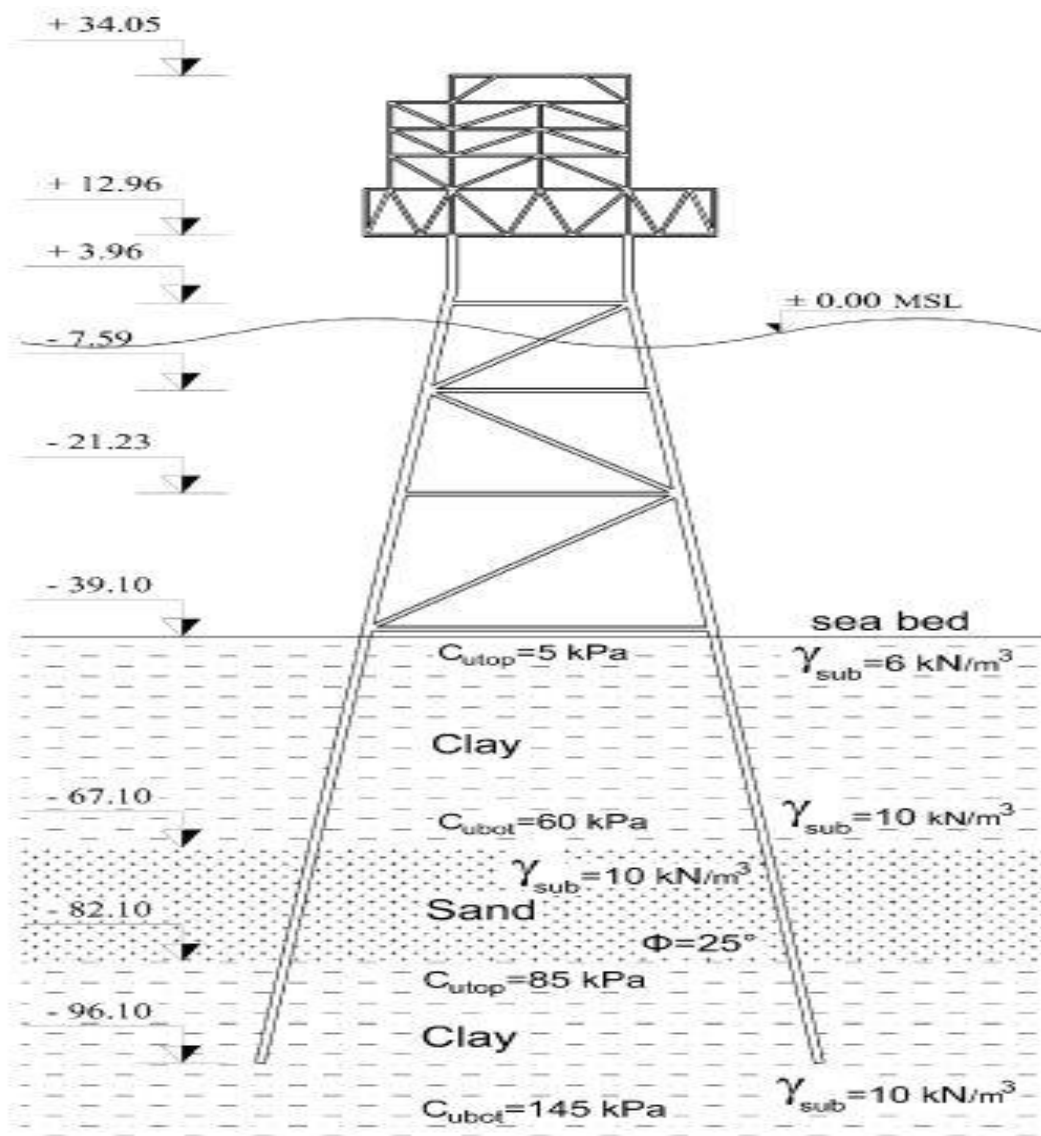
شکل ۷ (f.G.7) نوعی رفتار المان های CPSI را تحت بارگذاری های یکنواخت و دوره ای در سختی

های API استاتیکی و دوره ای نشان می دهد.



**Fig. 7.** Typical behaviour of CPSI elements (a) under monotonic loads using static  $p$ - $y$  curves, (b) under monotonic loads using cyclic  $p$ - $y$  curves, (c) under cyclic loads using static  $p$ - $y$  curves, and (d) under cyclic loads using cyclic  $p$ - $y$  curves.





**Fig 8.** General view of the jacket frame.

### ۳- مطالعه موردی

۳-۱ - مثال سکو : شکل ۸ (Fig.8) یک قاب دو بعدی نمونه تکیه گاه شمعی از سکوی ژاکتی که در

این مقاله استفاده شده نشان می دهد. این سکو یک قالب ۴ پایه با تنها یک مهاربند نظری در

هر دهانه روی قاب قائم و انتهای دیگر روی شمع در گوشه دیگر ابعاد قالب در صفحه افقی در

بالا و پائین (در بستر دریا) به ترتیب ۱۳/۷متر و ۲۶ متر هستند ، عمق متوسط آب ۳۹/۱ متر،

ارتفاع نهایی قالب ۴۴ متر است و شمع تا عمق ۵۷ متری زیر بستر دریا رانده شده اند. قطر

بیرونی و ضخامت دیواره شمع در زیر بستر دریا به ترتیب ۳۲ اینچ (۸۱/۲۸ سانتی متر) و ۱/۲۵

اینچ (۳/۱۸ سانتی متر) می باشد. قسمت بالایی به صورت کلی یک قاب فضایی ۴ طبقه است که

روی یک عرشه یک طبقه می باشند. پروفایل خاک ۳ طبقه لایه افقی رس، ماسه، و رس از بالا

به پائین به ترتیب با عمث های ۲۸ m ، ۱۵ m و ۱۴ m را شامل می شود. اطلاعات خاک در شکل

۸ نشان داده شده است.

### ۳-۴ - بارهای اعمالی

بارهای مرده و زنده به صورت بارهای یکنواخت گسترده روی اعضای سکو توزیع شده است.

بارهای نهایی اعمالی روی این قاب دو بعدی به ترتیب ۷۸۰۰ kN و ۴۴۰۰ kN می باشد. بارهای

محیطی (شامل موج و جریان باد) نیز در این قاب اعمال شده است.

بارهای باد نهایتاً ۲۳۵ KN و بارهای موج نهایتاً ۱۴۰۰ KN به عنوان یک بار نقطه ای روی قسمت بالایی و گره های اصلی قالب اعمال شده است.

بارهای اولیه مرده، زنده و باد به صورت بارهای یکنواخت روی سکو اعمال شده است و سپس بارهای امواج در دو زمینه بارهای یکنواخت روده ای اعمال شده اند. در بارگذاری یکنواخت، بارهای موج به تدریج از صفر تا سطح طراحی افزایش می یابند. در حالیکه در بارگذاری دوره ای یک تابع سینوسی هارمونیک تاریخچه - زمان استفاده شده است. برای نشان دادن بارگذاری موج روی سکو.

### ۳-۴- ABAQUS مدل ساختاری آباکوس در تمام آنالیزهای سازه ای این مقاله استفاده شده

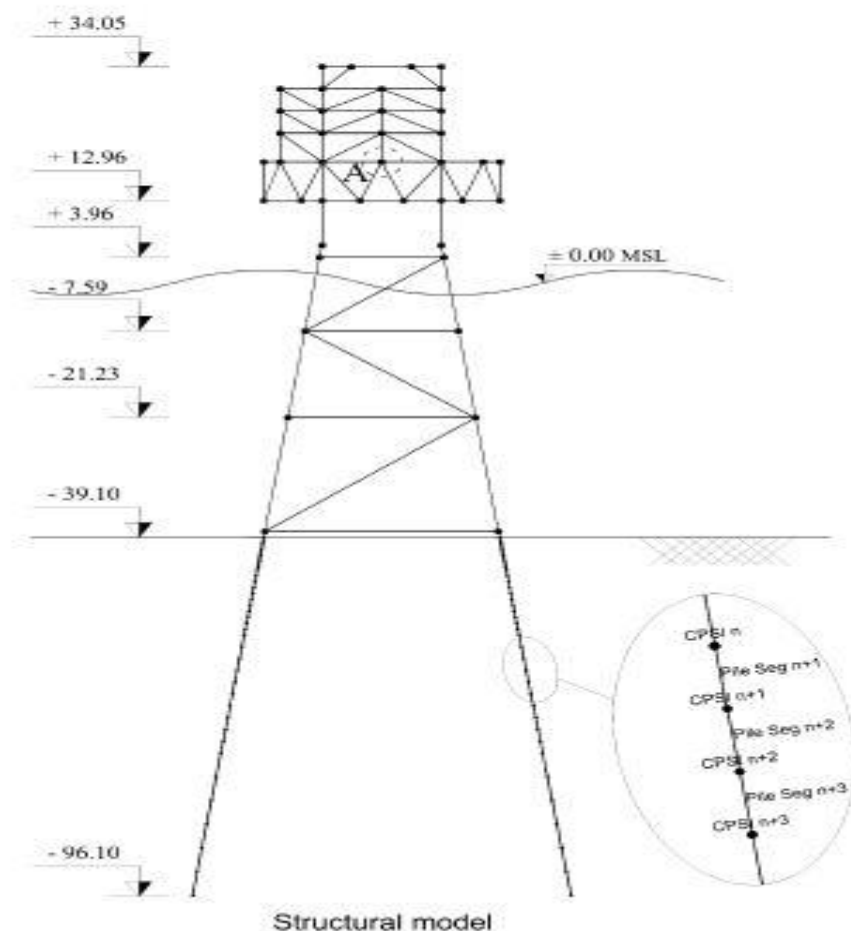
است و المان های تیر ستون در گرمای استاندارد از مجموعه المان های آباکوس در مورد الاستیک برای مدل کردن اعضای قسمت بالایی، قالب و شمع استفاده شده است. نه تغییر شکل های پلاستیک و نه خصوصیات پلاستیک المان های استفاده در این مدل در نظر گرفته نشده است. این مدل شامل نهایتاً ۲۱ المان برای مدل کردن قالب و اعضای قسمت بالایی می شود.

شمع ها و لایه های خاک اطراف آن به نهایتاً ۷۱ زیر لایه تقسیم شده اند و المان های به کار برده شده در CPSI، تحت اندرکنش شمع - خاک در تمام گره های در نظر گرفته شده زیر بستر دریا به کار بسته شده است. ۱۹ المان شمع و ۱۴۲ المان CPSI در آخر در این مدل استفاده شده است. قسمت های

شمع موجود در لایه های بالایی خاک معمولاً در معرض بیشترین تغییر شکل های جانبی هستند و از این رو، به همین علت در شبیه سازی های عددی کارآمدترین و با دقت ترین هستند. قسمت های کوچکتر شمع باید در بالای لایه های خاک استفاده شود. جدول ۱ (Table 1) ابعاد قسمت های زیر سطح دریا شمع نشان می دهد و شکل ۹ (Fig.9) مدل ساختاری این قاب ژاکتی را نشان می دهد.

**Table 1**  
Dimensions of the pile segments below seabed.

Element size	Depth below sea bed
0.25 m	0.0 to -5 m
0.50 m	-5 to -15 m
1.00 m	-15 to -35 m
2.00 m	-35 to -57 m



**Fig. 9.** Structural model of the jacket frame.



## ۴ بحث و نتایج عددی

تغییر شکل های شمع، نیروهای داخلی و تغییر شکل های جانبی سکو در اینجا به عنوان پارامترهای اصلی در نظر گرفته شده اند تا حساسیت پاسخ های سکو در مدل های متفاوت اندرکنش شمع - خاک را رسیدگی کند. موضوع اصلی شبیه سازی های عددی که در این مقاله انجام می شود مقایسه پاسخ کلی سکوی نمونه تحت بارگذاری های دوره ای و استاتیکی است. تأثیرات گسترش شکاف و نیروی کششی همچنین مورد مطالعه است.

در مرحله اول از این مقاله، مقایسه ای بین پاسخ های سکو تحت بارهای یکنواخت صورت می یگیرد. شکل های ۱۰ تا ۱۲ به ترتیب تغییر شکل شمع، نیروی برشی و توزیع لنگر خمشی را در طول محور شمع تحت بارگذاری های یکنواخت و دوره ای (بعد از دهمین بارگذاری) نشان می دهد. به نظر می رسد که همیشه استفاده از منحنی های  $p-y$  دوره ای منجر به پاسخ بیشتری از شمع نسبت به همان منحنی های  $p-y$  استاتیکی شود. به همین علت کاهش مقاومت های خاک در منحنی های  $p-y$  دوره ای API با منحنی  $p-y$  استاتیکی مقایسه می شود. همچنین در اینجا مشاهده می شود که همه پاسخ های شمع تحت بارهای دوره ای از پاسخ های شمع تحت بارهای یکنواخت بیشتر هستند. در بارگذاری دوره ای یک شکاف در کنار شمع (در خاکهای چسبنده) در طول دور اول بارگذاری شکل می گیرد و سپس این شکاف به تدریج در دوره های بعدی بارگذاری گسترش خواهد یافت. این بدین معنی است که نیروی

کششی فقط (که کمتر از مقاومت خاک در ناحیه دست نخورده است) می تواند به وسیله لایه های خاک ایجاد شود زمانی که شمع در نواحی شکاف های قبلی ایجاد شده شروع به حرکت کنند. به عبارت دیگر ، زیرا که شکل گیری شکاف و گسترش شکاف در لایه های چسبنده خاک است، بار کمی می تواند به وسیله لایه های خاک بالایی ایجاد شود و بنابراین بار بیشتر باید توسط اجزای شمع در آن نواحی ایجاد شود. آنجا نیروهای داخل شمع (لنگرهای خمشی و نیروهای برش) همانند تغییر شکل های جانبی شمع افزایش می یابد. همچنین مقاطع بحرانی شمع را (مقاطعی با ماکزیمم لنگر خمشی و نیروی برشی در طول محور شمع) به لایه های پائینتر خاک جا به

جا می کند.

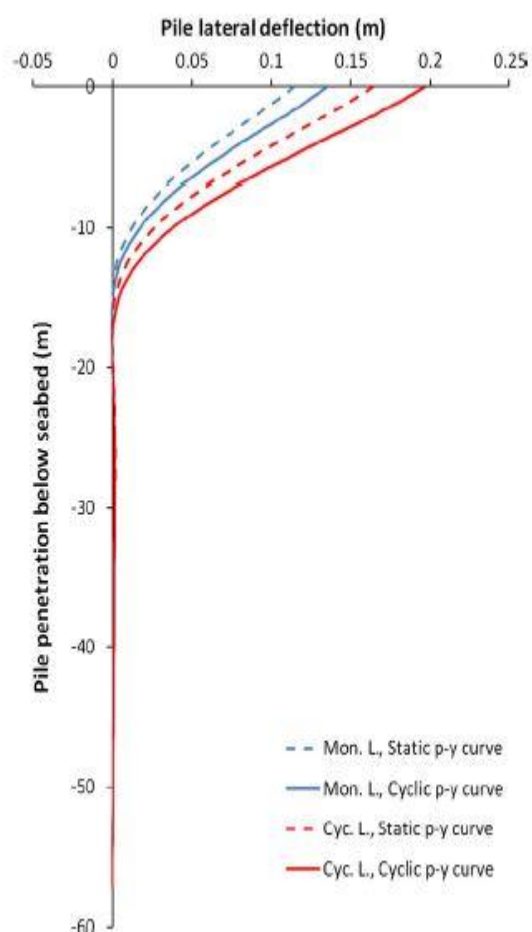


Fig. 10. Lateral deflection along the pile shaft in monotonic and cyclic loadings.

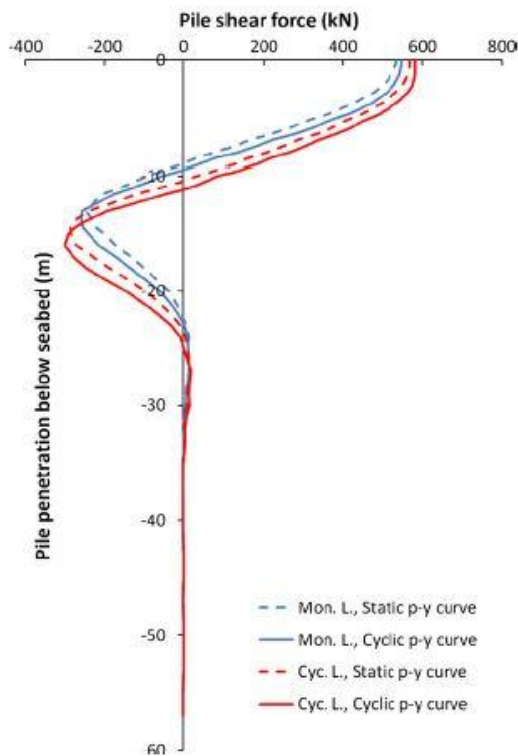


Fig. 11. Shear force distribution along the pile shaft in monotonic and cyclic loadings.

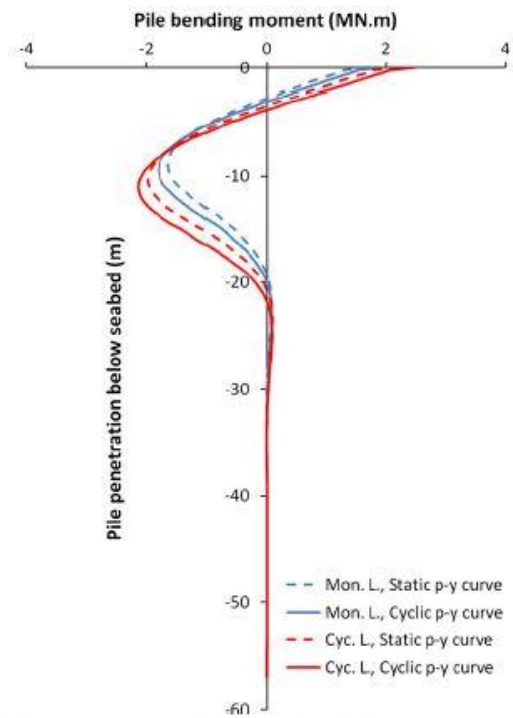


Fig. 12. Bending moment distribution along the pile shaft in monotonic and cyclic loadings.

پارامترهای طراحی شمع (ماکزیمم جابه جایی، ماکزیمم نیروهای برشی و ماکزیمم لنگرهای خمشی) تحت بارهای دوره ای و یکنواخت در جدول ۲ (Table 2) خلاصه شده است. این جدول نشان می دهد که افزایش تغییر شکل های شمع تحت بارگذاری دوره ای از دیگر پارامترهای طراحی تعیین کننده تر می باشد. همچنین مشاهده می شود که تفاوت میان نتایج برای بارگذاری های یکنواخت و دوره ای بزرگتر از تفاوت بین منحنی های استاتیکی و دوره ای می باشد. معلوم می شود که پدیده گسترش شکاف که در بارگذاری دوره ای مدل دیده می شود در پاسخ های همه جانبه شمع تأثیر خواهد گذاشت بیشتر از تفکیک مقاومت خاک که از منحنی های دوره ای  $p-y$  گرفته شده است.

**Table 2**  
Result of pile maximum responses under monotonic and cyclic loads.

Pile response	Loading	Static p-y curve	Cyclic p-y curve	Difference (%)
Deflection (m)	Monotonic	0.114	0.136	19.3
	Cyclic	0.166	0.200	20.5
	Cyclic diff. (%)	45.6	47.1	-
Shear force (kN)	Monotonic	245	258	5.3
	Cyclic	287	302	5.2
	Cyclic diff. (%)	17.1	17.1	-
Bending moment (MN m)	Monotonic	1.63	1.79	9.8
	Cyclic	1.98	2.15	8.6
	Cyclic diff. (%)	21.5	20.1	-

لوپ های پسماند برای عکس العمل های خاک در لایه های مختلف به علت بارگذاری های دوره ای نشان داده شده در شکل ۱۳ (Fig.13) است. اختلاف های قابل توجهی بین نتایج p-y دوره ای و استاتیکی برای عکس العمل های خاک و مطابق آن تغییر شکل های خاک در این شکل می تواند دیده شود. لایه های بالایی خاک به وسیله منحنی های **Backbon** بیشترین تأپذیری را در با دوره ای دارند که به علت گسترش بزرگترین شکاف ها در این نواحی می باشند. جا به جایی های دوره ای در هر لایه بزرگتر از جا به جایی های استاتیکی هستند به علت کاهش مقاومت خاک در منحنی های p-y دوره ای.

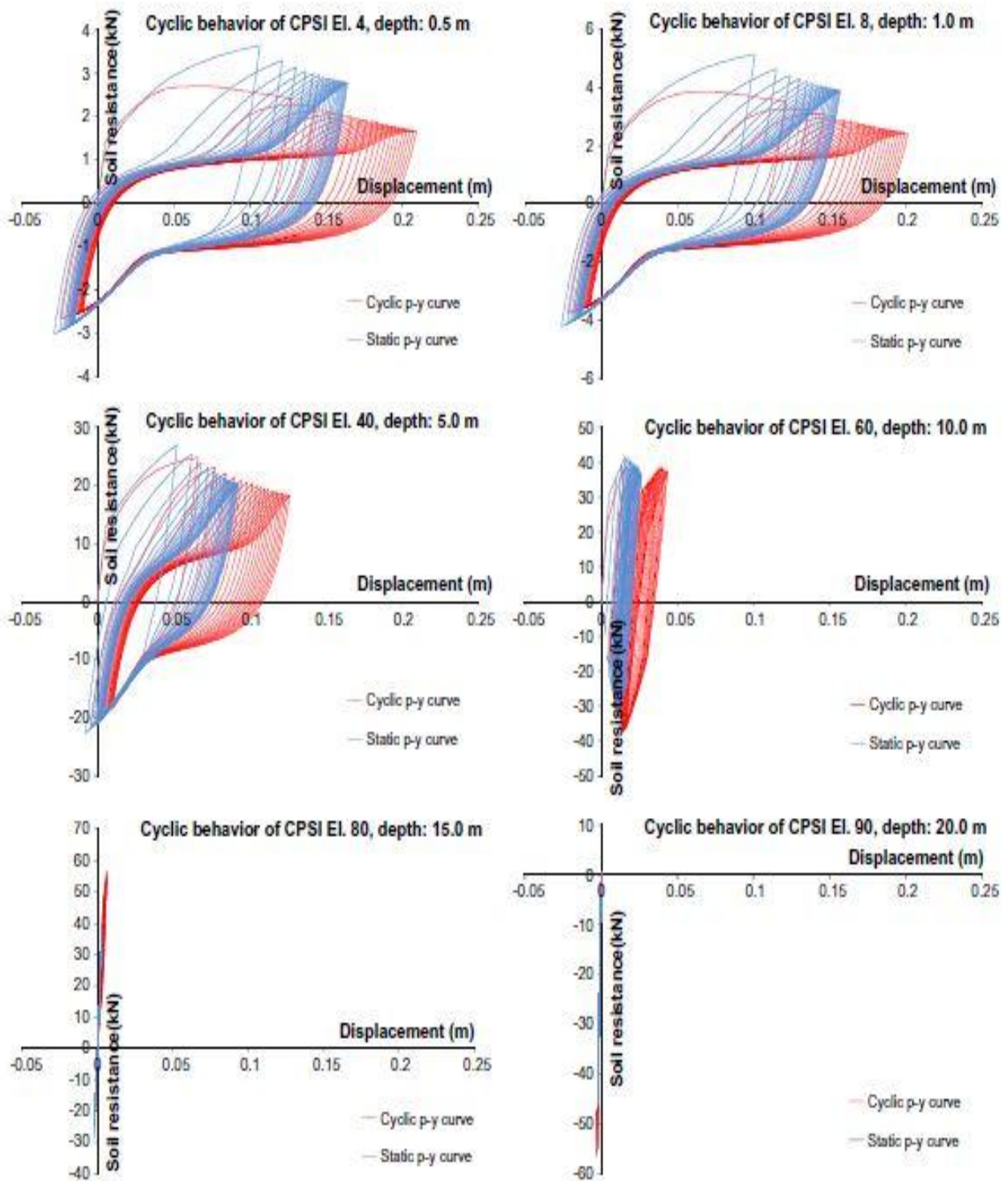


Fig. 13. Hysteretic soil reactions due to cyclic loads at different soil layers.

معمولا مسیر لوپ های پسماند خاک در این شکل برای سطح تا عمق لایه های خاک دارای یک قرارداد منطقی با نتایج تحقیقات صورت گرفته توسط دیگران هستند. (گریب و همکاران Grabe et al و والاس و همکاران Wallace et al).

برای بررسی کردن رفتار شمع در طول بارگذاری دوره ای تاریخچه ی زمانی پاسخ شمع (تغییر شکل ها، نیروهای برشی و لنگرهای خمشی) در اعماق مختلف بیان شده است. در شکل ۱۴ تا ۱۶ (Fig 14-16) تمام شکل ها نشان می دهد که پاسخ ماکزیمم شمع به تدریج افزایش می یابد و نهایتا به یک تعداد ثابت میل می کند. در این شکل ها به نظر می رسد که نرخ پاسخ شمع در لایه های بالایی خاک تغییر می کند و بزرگتر از لایه های پائین است. پاسخ های شمع در منحنی  $p-y$  استاتیکی زودتر از منحنی های دوره ای به یک مقدار ثابت می رسد. این عمدتا به علت تنزل تفاوت خاک و گسترش شکاف است که در نمودارهای دوره ای لایه های بالاتر خاک شدیدتر است. در طول این فرایند بیشتر بارها ، دوره به دوره تا دور دهم افزایش می یابد ، سپس استفاده از منحنی استاتیکی و سپس در ادامه تا یک اندازه ثابت ادامه می یابد. برعکس برای منحنی های  $p-y$  دوره ای تقریبا به یک اندازه ثابت در چرخه هجدهم می رسند.

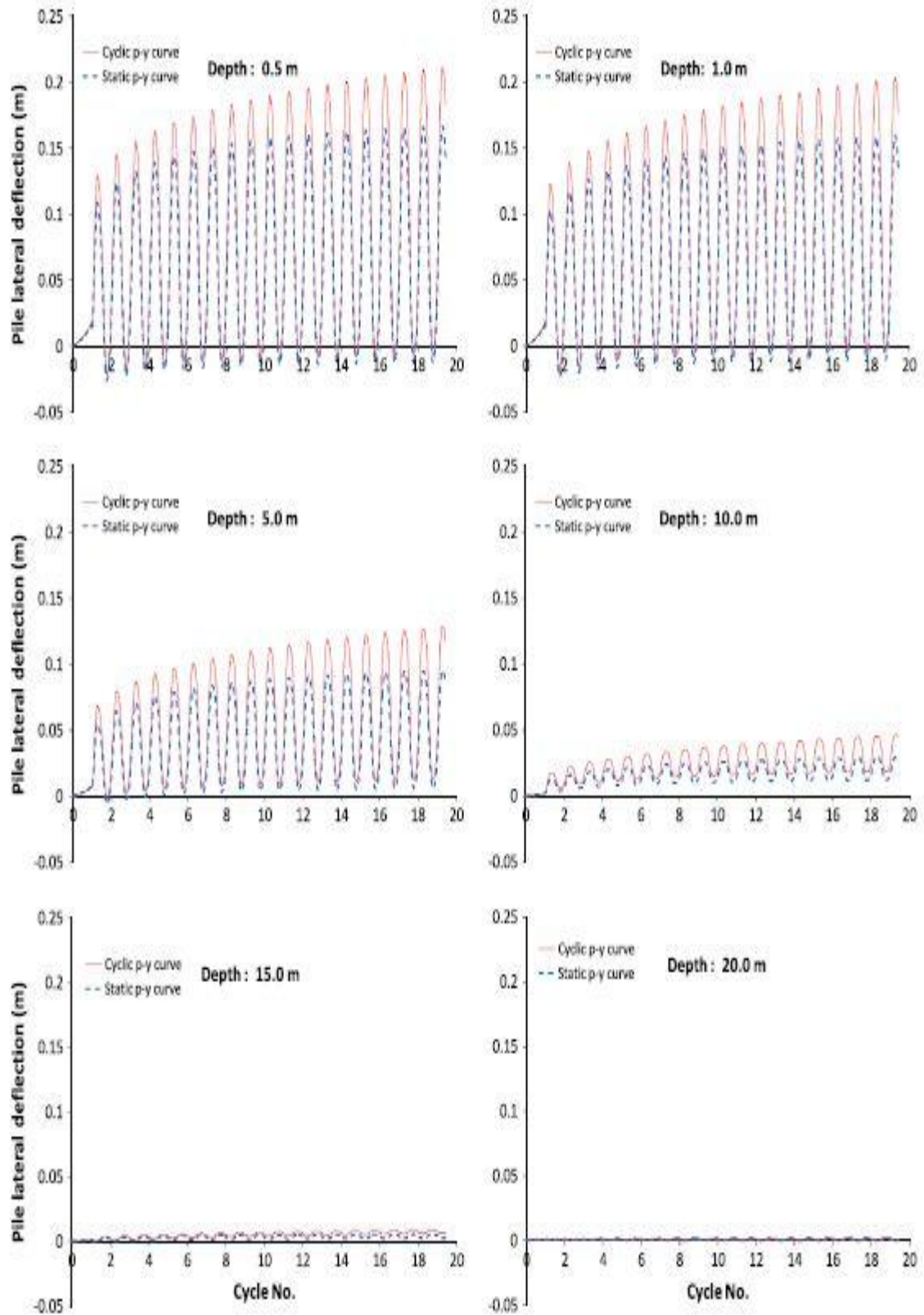


Fig. 14. Pile lateral deflections at different soil layers.



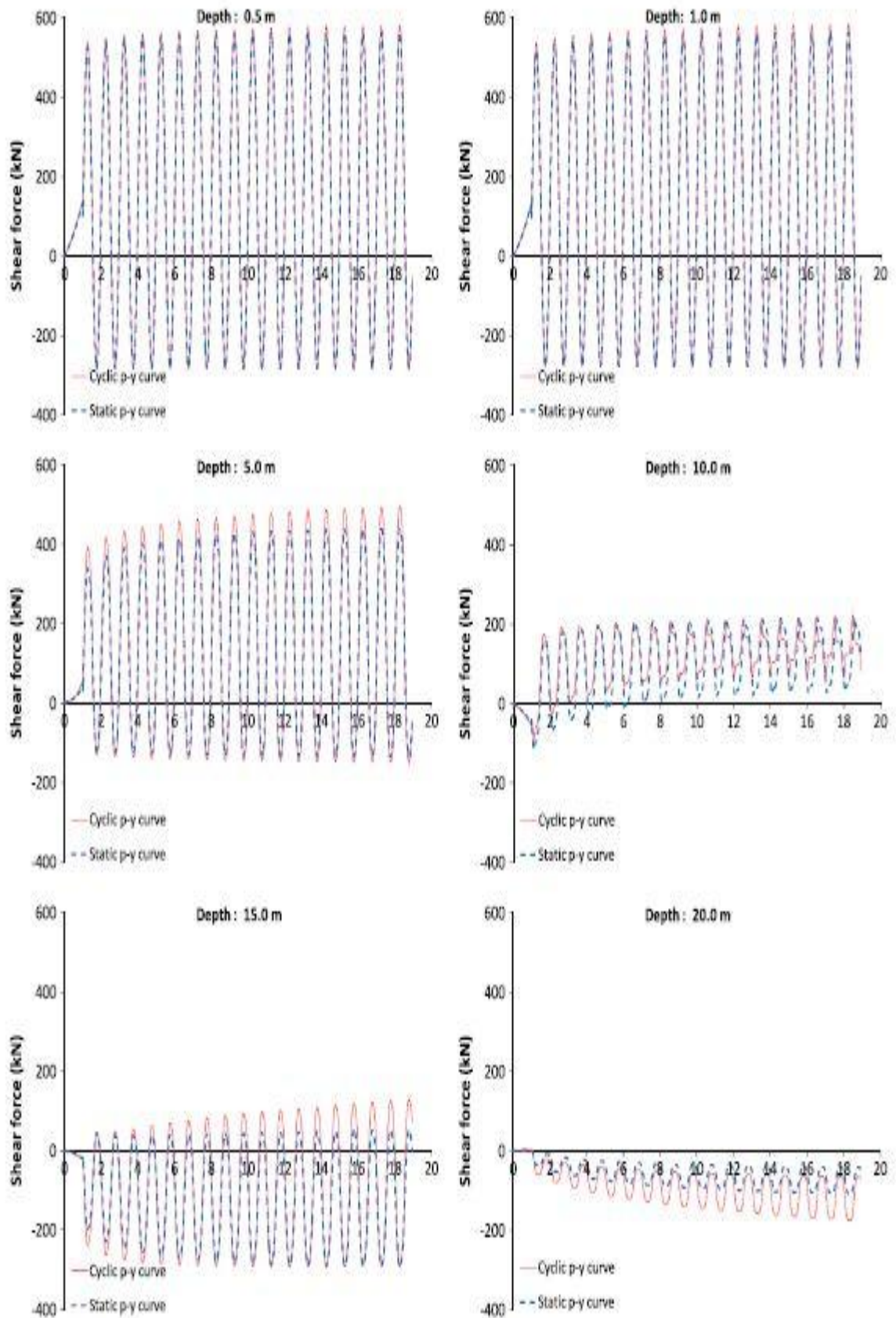


Fig. 15. Pile shear forces at different soil layers.



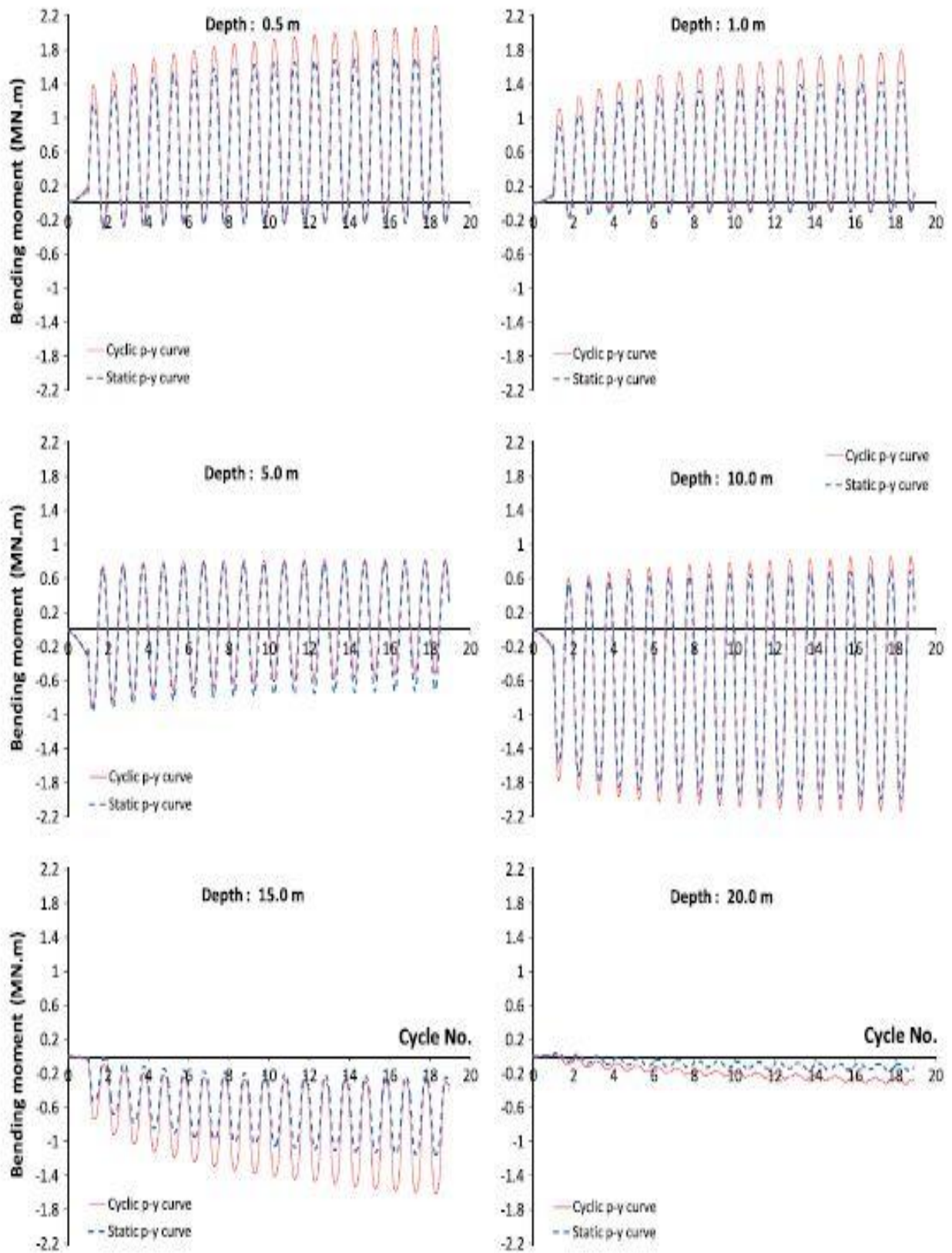


Fig. 16. Pile bending moments at different soil layers.

نیروهای برشی و لنگرهای خمشی در شکل ۱۵ و ۱۶ یک تمایل مشابه با تغییر شکل شمع در شکل ۱۴ (Fig 14) به نظر می رسد.

شکل های یک افزایش سریع در نیروهای داخلی شمع که بیشتر در چرخه های اول هر دو منحنی های استاتیکی دوره ای است را نشان می دهد و سپس این نرخ یک کاهش سریع در بارگذاری دوره ای دارد. نیروهای برشی و لنگرهای خمشی شمع به یک مقدار ثابت می رسند بعد از دهمین و چهاردهمین دور به ترتیب برای بارگذاری های استاتیکی دوره ای – جابه جایی از سطح تا عمق لایه های خاک تفاوت های بزرگتری بین نیروهای برشی و لنگرهای خمشی در منحنی  $p-y$  استاتیکی و دوره ای می تواند در شکل ۱۵ و ۱۶ (Fig 15 & 16) مشاهده شود.

در یک طراحی ۳ بعدی شمع نیروهای داخلی ماکزیمم و محل قطع بحرانی شمع (جایی که نیروهای داخلی ماکزیمم در طول محور شمع اتفاق می افتد) به علت بارگذاری دوره ای در اشکال ۱۷ و ۱۸ (Fig 17 and 18) نشان داده شده است. که خروجی های مهمی هستند که می بایستی مطالعه شوند. در شکل ۱۸ (Fig.18) مقطع بحرانی شمع برای نیروهای برشی و لنگرهای خمشی در طول محور شمع به پایین حرکت می کند در طول تعداد کمی چرخه های اولیه بارگذاری و سپس به یک موقعیت ثابت می رسد.

نیروهای داخلی و موقعیت مقاطع بحرانی بعد از تعداد کمی چرخه ثابت می شود. همچنین به نظر می رسد که پاسخ های شمع (مقادیر ماکزیمم و موقعیت بحرانی) در منحنی های مورد استفاده همیشه بزرگتر و در عین حال حساس تر برای بارگذاری دوره ای هستند تا منحنی های بارگذاری استاتیکی .

**Table 3**  
Maximum pile responses for different drag forces.

Pile response	p-y Curve	30% $p_{ult}$ Drag force	60% $p_{ult}$	Difference (%)
Deflection (m)	Static	0.166	0.161	2.75
	Cyclic	0.200	0.191	4.7
Shear force (kN)	Static	287	280	2.4
	Cyclic	302	290	3.9
Bending moment (MN m)	Static	1.98	1.94	2.3
	Cyclic	2.15	2.07	3.6

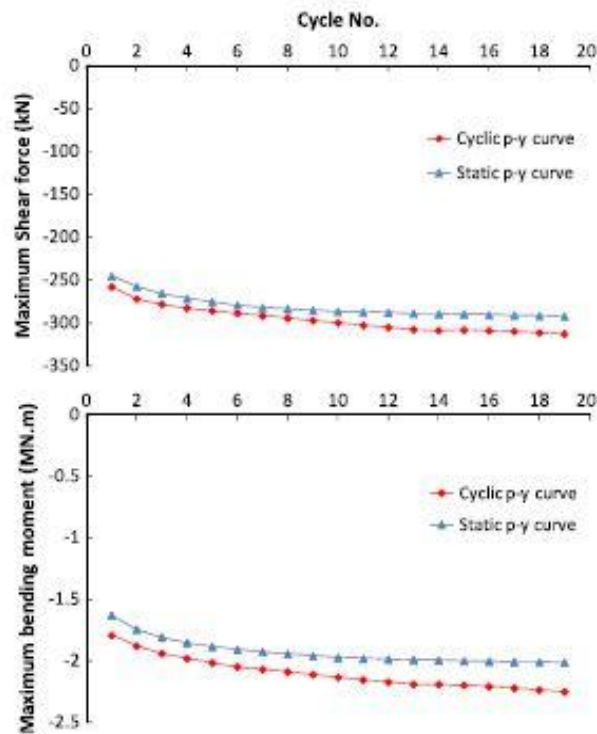


Fig. 17. Pile maximum shear forces and bending moments.

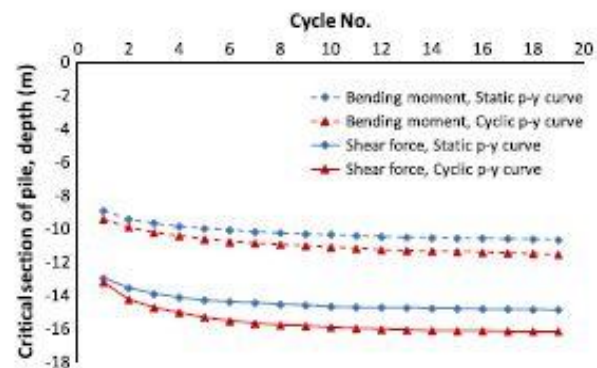


Fig. 18. Pile critical section.

- تمام مشاهدات در اشکال ۱۳ تا ۱۸ (Fig 13-18) به علت شکل گیری شکاف و پس از آن گسترش آن در طول بارگذاری دوره ای و کاهش مقاومت خاک هستند. به علت گسترش شکاف در فرایند افزایش بارگذاری، چرخه به چرخه از لایه های بالایی به سمت پائین لایه های خاک انتقال می یابد و از این رو اجزاء شمع قادر به انتقال نیروها خواهند بود. بعد از تعداد کمی دور بارگذاری کل سیستم به یک شرایط پایدار می رسد که بار نهایی به وسیله لایه های بالایی خاک

(در منطقه شکاف) و لایه های پائینی خاک (در محدوده تغییر شکل های الاستیک) به بارهایی

معادل با بارهای اعمال شده به شمع خواهند رسید.

تاریخچه زمانی شکل جانبی سکو (گره A در بالای شکل 9 ۹ Fig) تحت بارهای یکنواخت و دوره ای در

شکل ۱۹ (Fig 19) مقایسه شده اند. به نظر می رسد که تحت بارهای دوره ای ، تغییر شکل های سکو

تمایل به یک افزایش اولیه و سپس بعد از تعداد کمی چرخه و با یک اندازه هارمونیک ثابت ادامه می

یابد. تغییر شکل ماکزیمم سکو تحت بارهای دوره ای و استفاده از منحنی های  $p-y$  دوره ای است. (که

این هم به صورت سنتی استفاده می شود در کارهای مخصوص برای ارزیابی سازه ای سکوها تحت

بارهای موج). که این موضوع می تواند بیشترین اهمیت را به دست آنالیزهای مقاومت نهایی (پوش

بالایی) سکوهایی دریایی در جایی که اعضا رفتار دوره ای دارند داشته باشد و بارهای مرتبه دوم ( $p-\Delta$ )

می تواند همچنین به حساب آید.

مدل CPSI به آسانی به کاربر اجازه می دهد که تعداد نیروی کششی را تنظیم کند زمانی که شمع به

سمت ناحیه شکاف در حرکت است. پاسخ های ماکزیمم شمع برای دو نیروی کششی متفاوت (۳۰ درصد

و ۶۰ درصد مقاومت نهایی خاک) بعد از دهمین دور بارگذاری های استاتیکی و دوره ای استفاده شده در

منحنی  $p-y$  در جدول ۳ (Table 3) خلاصه شده است. مشاهده می شود که تأثیر ضریب نیروی

کششی کمتر از ۵ درصد است و این تأثیر مهمی روی پاسخ ماکزیمم پاسخ های شمع ندارد.

## ۵ نتیجه گیری

یک مدل ساده شده BNWF مدل CPSI برای آنالیز اندرکنش دوره ای شمع - خاک شمع های دریایی معرفی شده است. این مدل به عنوان یک المان در برنامه آباکوس (ABAQUS) به کار می رود. این یک المان جامع و عملی روی روش شناسی BNWF بیان شده توسط بونگلار و همکاران پیاده شده است. مدل CPSI می تواند رفتار الاستیک - پلاستیک لایه های خاک تحت بارگذاری های دوره ای و یا یکنواخت با استفاده از منحنی های توصیه شده API برای رفتارهای دوره ای یا استاتیکی را در نظر بگیرد. شکل گیری شکاف ، گسترش شکاف و نیروی کششی مشخصات اصلی این مدل برای بارهای دوره ای هستند. این مدل به کاربر اجازه می دهد به آسانی بین بارهای دوره ای و یکنواخت، منحنی های دوره ای و استاتیکی و تطابق با مقادیر نیروی کششی تغییر کند.

میزان دقت و حساسیت یک نمونه قاب دریایی، با تکیه گاه شمعی در بارگذاری های جانبی یکنواخت و دوره ای در این مقاله بررسی شده است. دریافتیم که تحت بارهای دوره ای تغییر شکل های ماکزیمم شمع و نیروهای داخلی آن در تعداد کمی دوره های بارگذاری اولیه افزایش می یابد و سپس بعد از تعداد زیادی چرخه بارگذاری به یک شرایط پایدار با اندازه های ثابت میل می کند. همچنین به نظر می رسد که پاسخ های شمع (تغییر شکل ها، نیروهای برشی و لنگرهای خمشی) برای منحنی های دوره ای برای بارهای دوره ای بیشتر حساس است تا نتایج حاصله از منحنی های Backbone گسترش شکاف

ها و مقاومت خاک انتقال می یابد از لایه های سطحی خاک تا لایه های عمیق تر خاک که نهایتاً منجر به افزایش پاسخ های خاک و حرکت مقاطع بحرانی شمع به سمت پائین در طول محور شمع می شود.

تغییر شکل های جانبی دوره ای سکو، با استفاده از منحنی های دوره ای **Backbone** به نظر می رسد که بیشتر از نتایج تطبیق یافته تحت بارگذاری یکنواخت است. این می تواند تأثیرات کارآمد و مهم روی ظرفیت نهایی سکوهایی که رفتار دوره ای سکو و اثرات ثانویه ( $P.\Delta$ ) اهمیت دارد داشته باشد.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی