Archive OF SID

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز بررسی اطلاعات علمی

ICOPMAS

www.SID.ir

Archive of SID

نهمین همایش بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی
ICOPMAS 2010
۱۰- ۸ آذر ماه (تهران)

اثر اندرکنش سازه و خاک در مونوپایل دریایی تحت بارهای توام موج، جریان و ضربه

محمد جواد کتابداری ، دانشیار ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر ، ketabdar@aut.ac.ir
فرزام صفرزاده ملکی ، دانشجوی کارشناسی ارشد ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر ، safarzadeh@aut.ac.ir
حسن منیری ، کارشناس عمران ، دانشگاه آزاد اسلامی ، Hsn.moniri@gmail.com

کلید واژه : مونوپایل دریایی، اندر کنش سازه و خاک، موج استوکس، معادله موریسون

چکیده

نیاز روز افزون به منابع انرژی پاک و تجدید پذیر، حوزه‌های تحقیق و مطالعه انرژی را در سراسر کره زمین گسترده داده است. در میان انواع روش‌های موجود، کسب انرژی از بادهای دریایی یکی از ارزان‌ترین و در دسترس ترین نمونه‌های آن بحساب می آید. بخصوص در کشورهای با پهنه ساحلی گسترده نظیر ایران، این نوع از انرژی بسیار مقرون به صرفه می‌باشد. لذا بررسی و مطالعه اجزای مختلف توربین های بادی از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این میان شالوده سازه‌های فراساحلی جاذب انرژی باد، نقش مهمی را در پایداری اینگونه سازه‌ها ایفا می‌نمایند. یکی از زیرسازه‌هایی که بعنوان شالوده می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، مونوپایل یا تک شمع دریایی می‌باشد.

در مقاله حاضر به کمک نرم افزار اجزای محدود به بررسی نیروهای موج، جریان و ضربه ناشی از برخورد احتمالی کشتی، بر یک مونوپایل دریایی بعنوان پایه یک توربین بادی پرداخته شده است. به منظور بررسی اثرات بستر، سازه در دو حالت با و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک بستر با سازه طرح و نتایج با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد در حالت با در نظر گرفتن اندرکنش شمع و خاک بستر، کاهشی حدود ۲۰٪ در تغییر مکان نوک شمع نسبت به حالت بدون در نظر گرفتن اندرکنش خواهیم داشت.

مقدمه

مجموعه توربین‌های بادی در بخش‌های وسیعی از کشورهای دارای پهنه دریایی در آب هایی با عمق‌هایی متفاوت از حدود ۱۵ تا ۴۰ متر مورد استفاده قرار می‌گیرند. در طرح شالوده این توربین ها که معمولا از نوع مونوپایل هستند، نیروهای افقی و لنگرهای خمشی بزرگ ناشی از بارهای باد و موج، بایستی بصورت اقتصادی و ایمن به بستر دریا منتقل گردند. در اصل، مونوپایل عبارت است از امتداد سازه مذکور که در زیر بستر دریا ادامه می یابد. این نوع از سازه ها در دریای شمال و بالتیک به منظور جذب انرژی باد در آب‌هایی با عمق کمتر از ۱۰ متر مورد استفاده قرار می‌گیرند. انتظار می‌رود که در آینده نزدیک کاربرد این سازه‌ها تا اعماق آب ۲۵ تا ۳۰ متر نیز ممکن باشد. قطر اینگونه از تک شمع‌های دریایی بین ۶ تا ۸ متر متغیر است.

از آنجا که سازه‌های جاذب انرژی در آب به تغییر شکل‌ها به ویژه به تغییر شکل‌هایی که منجر به تغییر زاویه راس سازه می‌گردد بسیار حساس می‌باشند، تخمین اینگونه تغییر شکل‌ها بایستی به گونه‌ای باشد که تا حد امکان به مقدار دقیق نزدیک باشد [۱].

بیان مسئله

در این تحقیق جهت مدلسازی از مدول Offshore نرم افزار اجزای محدود Sap 2000 استفاده گردید. موج برخوردی به سازه از نوع استوکس مرتبه ۵، انتخاب گردید [۲]. برای محاسبه نیروی موج مطابق با آیین نامه API از معادله موریسون به شکل زیر استفاده شده است:

www.SID.ir

Archive of SID

$$F = \frac{1}{4}\pi\rho D^2 C_M \dot{u}(t) + \frac{1}{2}\rho C_D D u(t)|u(t)| \qquad (۱)$$

که در آن F نیرو در واحد طول سیلندر (N/m)، D قطر سیلندر (m)، $u(t)$ مولفه افقی سرعت اربـیتالی موج و سرعت جریان (m/s) و $\dot{u}(t)$ مولفه افقی شتاب اربیتالی موج (m/s^2) می باشد.

یک تک شمع دریایی یکبار بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه و بار دیگر با در نظر گرفتن اندرکنش تحت اثر همزمان موج و جریان و ضربه کشتی قرار گرفت و نتایج با هم مقایسه گردید

لایه‌های خاک مورد استفاده بر اساس مشخصات خاک ناحیه ساحلی بندر عباس در ۴ لایه که نوع و ضخامت هر یک به ترتیب در جدول ۱ آورده شده است انتخاب گردید. از آنجا که لایه‌های خاک مورد استفاده هر یک دارای مشخصات مکانیکی متفاوتی می‌باشند، از این رو مشخصات دقیق هر یک در جدول ۲ آورده شده است. در این جدول K_H سختی افقی و E50 مدول الاستیسیته خاک می باشند.

جدول ۱- لایه‌های خاک مختلف مورد استفاده در بستر

شماره لایه	توصیف	تراز
۱	ماسه	۰ تا ۸- متر
۲	رس سخت	۸- تا ۱۶- متر
۳	ماسه ریزدانه تا سایز متوسط (۱)	۱۶- تا ۲۴- متر
۴	ماسه ریزدانه تا سایز متوسط (۲)	۲۴- تا ۳۲- متر

جدول ۲- پارامترهای مختلف خاک در لایه‌های مختلف

شماره لایه	γ_{sat} (kN/m^3)	c' (kN/m^2)	φ' (°)	δ'(°)	K_H (kN/m^3)	E50 (kN/m^2)
۱	17	0-1	27.7	18	3000	NA
۲	19	5-10	20	13	3100	7500
۳	19	0-1	32.5	21	16500	60000
۴	19	0-1	35	23	27500	80000

مدلسازی و تحلیل

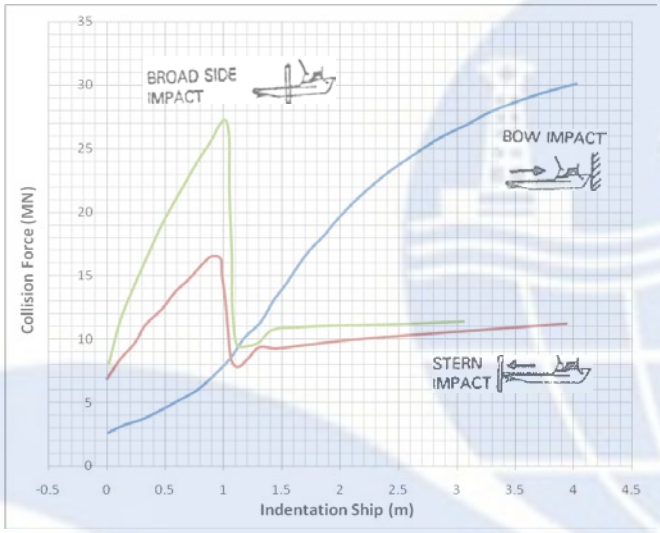
درایـن تحقیق مونوپایلی به ارتفاع ۶۸ متر، قطر ۶ متر و ضخامت جان ۱۵ سانتیمتر در عمق آب ۳۶ متر که عمق نفوذ آن به ۳۲ متر در بستر دریا بالغ می گردد در نظر گرفته شد [۳]. جدول ۳ مشخصات مونوپایل مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد. سعی گردید شرایط محیطی در این مطالعه موردی متناسب با شرایط خلیج فارس انتخاب گردد. موج طراحی موج استوکس مرتبه ۵ با ارتفاع مشخصه ۶ متر و پریود ۱۰ ثانیه انتخاب گردید. جریان دریایی با سرعت یکنواخت معادل ۰٫۵ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. فرض بر آن است که ضربه ناشی از برخورد کشتی در حالت از پهلو به پایه مونوپایل وارد می گردد. میزان این نیرو بر اساس تناژ و سرعت معمول کشتیهای عبوری برابر ۱۰٫۵ مگا نیوتون در نظر گرفته شده است. شکل شماره ۱ نمودار حاکم بر نسبت تغییرات بار–فرورفتگی در کشتی بر اثر نیروی ناشی از ضربه را نشان می دهد. همانطور که در این شکل نشان داده شده است بسته به محل برخورد کشتی، که می تواند از جلو، پهلو یا پاشنه باشد، و میزان فرورفتگی ایجاد شده در بدنه، نیروی وارد به مونوپایل متغیر است. شکل شماره ۲ تغییرات بار–فرورفتگی موضعی در اثر ضربه در طول یک مقطع لوله ای را نشان می دهد [۴]. مقدار فروروفتگی موضعی مونوپایل با پارمترهای b، t و d کنترل می شود که به ترتیب عبارتند از طول فرورفتگی، ضخامت و قطر مونوپایل. منحنی های نشان داده شده در این شکل با دو رویکردی که توسط Eliras به همراه walter و Amdahl ارائه شده است، مورد مقایسه قرار گرفته است. میزان بار وارده با در نظر گرفتن فرورفتگی ایجاد شده در این تحقیق با استفاده از این نمودار استخراج گردیده است.

www.SID.ir

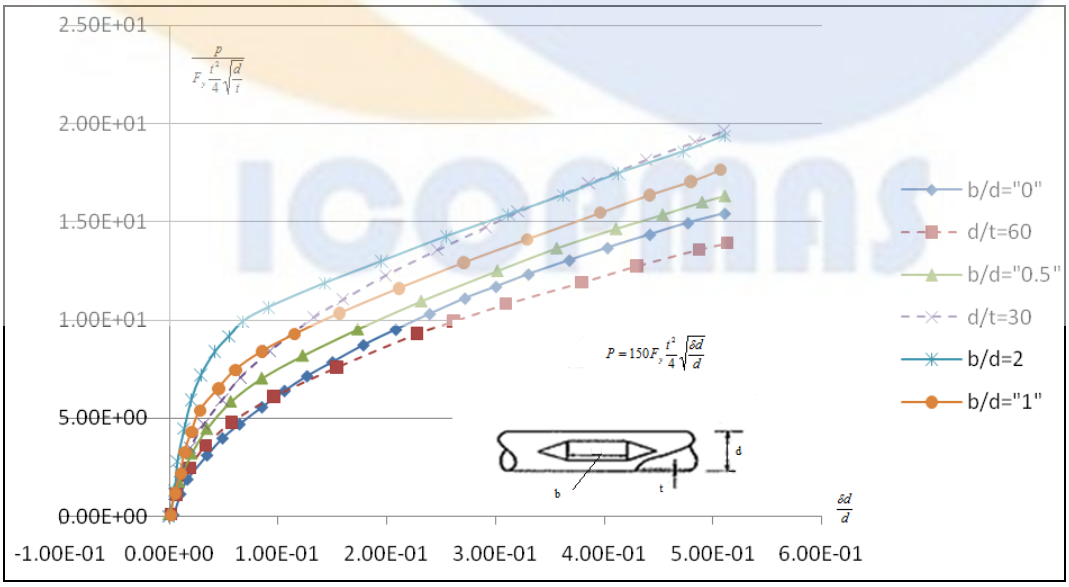
Archive of SID

جدول ۳- مشخصات فنی مونوپایل مورد استفاده

مشخصه (واحد)	مقدار
ارتفاع (متر)	۶۸
قطر (متر)	۶
ضخامت جان (سانتی متر)	۱۵
مدول الاستیسیته فولاد مصرفی (Kg/cm^2)	۲,۰۴*۱۰^۶
مدول برشی فولاد مصرفی(Kg/cm)	۷۸۴۶۱۵,۴
تنش گسیختگی فولاد (Kg/cm^2)	۲۴۰۰
تنش نهایی فولاد (Kg/cm^2)	۳۷۰۰



شکل۱- منحنی نسبت تغییرات بار-فرورفتگی در کشتی بر اثر نیروی ناشی از ضربه [۴]

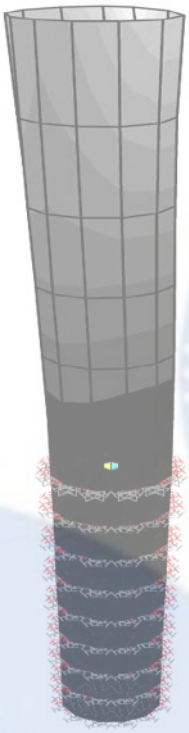


شکل۲- منحنی تغییرات بار- فرورفتگی موضعی در طول لوله
(خطچین Eliras and walter- توپر Amdahl) [۴]

www.SID.ir

Archive of SID

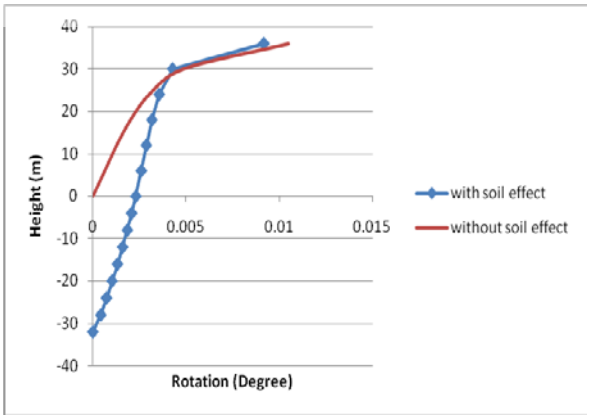
در حالت اول بدون در نظر گرفتن اثر اندر کنش خاک و سازه، مونوپایل تحت اثر نیروهای موج و جریان و ضربه کشتی قرار گرفت. اتصال شمع به بستر دریا بدون در نظر گرفتن اندرکنش به صورت گیردار فرض شد و برای اثر بار موج، باد و ضربه آنالیز انجام گردید. در این حالت نتایج نشان داد که این نیروها موجب ایجاد جابجایی به میزان ۰,۲۲۶۴ متر در راس شمع می گردد. برای حالت اندرکنش خاک و سازه خاک اشباع بستر دریا در چهار لایه و با مشخصات متفاوت در نظر گرفته شده است. شکل ۳ تصویری از مونوپایل مدل شده به همراه فنرهای مربوط به مدلسازی لایه‌های مختلف خاک را نشان می‌دهد. پاسخ الاستیک خاک با استفاده از ضریب افقی K_H بر طبق رابطه Menard برای بازهای جانبی موثر بر شمع مورد محاسبه قرار می گیرد[۵]. بار دوم این مونوپایل تحت اثر همان بارهای توام و با منظور نمودن اثرات اندرکنش خاک و سازه مورد ارزیابی مجدد قرار گرفت.



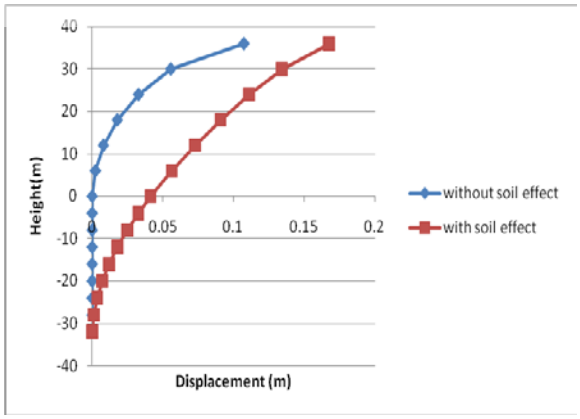
شکل ۳- مونوپایل و فنرهای مدل شده بعنوان لایه‌های مختلف خاک

بررسی و بحث بر روی نتایج

به منظور مقایسه دقیق اثرات دو حالت با و بدون در نظر گرفتن لایه‌های مختلف خاک بـر روی مونوپایـل دریـایی، نمودارهـای جابجـایی انتقالی و پیچشی راس سازه مورد بررسی قرار گرفت. اشکال ۴ و ۵ به ترتیب میزان پیچش راس سازه و جابجایی سازه را در این دو حالـت نشان می‌دهند. در این اشکال تراز صفر تراز بستر دریا می باشد.



شکل ۴- مقایسه میزان پیچش سازه در دو حالت با و بدون در نظر گرفتن اثرات خاک بستر



شکل ۵- نمودار جابجایی مونوپایل در حالت با و بدون در نظر گرفتن اثرات خاک

www.SID.ir

Archive of SID

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد، میزان پیچش سازه در ارتفاع در محل راس سازه در دو حالت با و بدون در نظر گرفتن خاک، بسیار بیشتر از سایر ترازهای شمع تک دریایی است. علت این امر را می‌توان در موقعیت برخورد و ضربه کشتی جستجو نمود. از آنجا که در این تحقیق محل برخورد کشتی به مونوپایل به صورت شعاعی به سمت مرکز شمع در نظر گرفته شده است ، لذا انتظار می رود که دوران متقارن رخ دهد. اما در قسمت های راس سازه، بعلت فرورفتگی‌های ایجاد شده در سازه، محاسبه میزان پیچش خالص بسختی امکان پذیر است. از این رو میزان پیچش در گره سمت مخالف ضربه کشتی بعنوان معیار سنجش پیچش در راس سازه مورد نظر قرار گرفت. همچنین مقایسه دو حالت با و بدون در نظر گرفتن خاک برای پیچش نشان می‌دهد که شیب تغییرات پیچش در طول سازه، در حالت با در نظر گرفتن خاک ملایم تر و منطقی تر می‌باشد. این مطلب در راس سازه بعلت ذکر شده در بالا مستثنی است.

شکل ۵ نتیجه حاصله مربوط به جابجایی راس مونوپایل را با و بدون در نظر گرفتن خاک نشان می‌دهد. کاهش جابجایی راس سازه و شیب یکنواخت جابجایی در طول سازه در حالت در نظر گرفتن خاک در مقایسه با حالت بدون در نظر گرفتن خاک بسیار مشهود است. همانطور که مشاهده می گردد با آنکه پارمترهای خاک در نظر گرفته شده برای لایه‌های مختلف، در تطابق با واقعیت، از مقاومت بالایی برخوردار نیست، اما نادیده گرفتن آنها در محاسبات مربوط به تک شمع دریایی، فرض ساده کننده نادرستی است.

نتیجه گیری

در این تحقیق یک شمع دریایی تک که می تواند پایه یک توربین بادی در دریا باشد، تحت اثر همزمان موج از نوع استوکس مرابه ۵، جریان دریایی و ضربه کشتی به روش اجزای محدود مدلسازی گردید. سپس تغییر مکان شمع یکبار با فرض تکیه گاه گیردار و بار دیگر با در نظر گفتن اندرکنش شمع و خاک بستر دریا، که به صورت لایه‌ای بود، محاسبه گردید. نتایج مدلسازی نشان داد آنالیز حالت با در نظر گرفتن اندرکنش شمع و خاک بستر باعث کاهشی حدود ۲۰٪ در تغییر مکان نوک شمع می گردد. لذا منظور نمودن اندرکنش مزبور به طرح بهینه تری برای شمع منجر خواهد گردید. همچنین در نظر گرفتن اثرات خاک موجب توزیع یکنواخت جابجایی در ارتفاع شمع می‌گردد.

مراجع

[1] Abdel-Rahman, K., Achmus, M. (2006), Behaviour of Monopile and Suction Bucket Foundation Systems for Offshore Wind Energy Plants. 5th International Engineering Conference, Sharm El-Sheikh, Egypt.

[2] Dean, R. G., Dalrymple, R. A. (2000), Water wave mechanics for engineering and scientist, Advanced series on ocean engineering, Volume 2

[3] Achmus, M., Abdel-Rahman, K., Kuo, Y. S.(2007), Behaviour of large diameter monopile under cyclic horizontal loading, Twelfth Int. Colloquium on Structural and geotechnical Eng. Cairo, Egypt

[4] Amdahl, J., Eberg, E. (1993), Ship collision with offshore structures, EURODYN93, Rotterdam

[5]Bakker, J., Nedam, B. (2002), Foundation design monopile variation of water depth and pile diameter 3.6 & 6.0 mW wind turbines, Dutch offshore wind energy converter project, Germany.

www.SID.ir

Archive of SID

EFFECT OF SOIL-STRUCTURE INTERACTION IN MARINE MONOPILE UNDER WAVE, CURRENT AND IMPACT COMBINED LOADS

M. J. Ketabdari, Associate professor, AmirKabir University of technology
F. Safarzadeh Maleki, Graduate student, AmirKabir University of technology
H. Moniri, Civil engineer, Islamic Azad University

Abstract

Increasing demand for clean and renewable energy sources opened the new areas of investigation all around the world. Among the various available methods, absorbing energy from the sea winds is one of the less expensive and most accessible one. Especially in the countries with extensive coastal zone, such as Iran, this kind of energy is completely-cost effective. Therefore, assessing the different components of wind turbines is of a great importance. In the present study, effect of simultaneous wave and current loads as well as ship impact on a monopile was evaluated using finite element software SAP2000. This monopile can be regarded as the base for a wind turbine. Therefore, in this research, a monopile with a length of 68 m, diameter of 6 m and a thickness of 0.15 m was considered.

Key words: *Marine Monopile, Soil-structure interaction, Stokes Wave, Morison Equation*

www.SID.ir