

مطالعه پارامتری تحلیل خستگی اتصالات سکوهای ثابت دریایی به روش طیفی

مسعود عدل
دانشجوی کارشناسی ارشد

علی اکبر آقا کوچک
دانشیار
بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

تحلیل خستگی یکی از مهمترین مراحل آنالیز درجای سکوهای دریایی است که عمدتاً کنترل کننده ضخامت اعضای جاکت در محل اتصالات است. روش های مختلفی برای تحلیل خستگی سکوهای دریایی وجود دارد که در این بین روش طیفی، حائز اهمیت ویژه ای است، چرا که این روش به عنوان روش توصیه شده توسط آیین نامه API-RP-2A، از دقت بیشتری نسبت به روش های دیگر (خصوصاً متعین) برخوردار است. ارزیابی روش طیفی از طریق بررسی حساسیت نتایج آن نسبت به پارامترهای مختلف و نیز مقایسه با روش متعین از مهمترین اهداف این مقاله است. برای این منظور از مدل سه سکو که با شماره های ۱ و ۲ و ۳ نام گذاری شده اند و بترتیب در آبهای به عمق ۱۵۰، ۲۹ و ۶۰ متر واقع گردیده اند، بهره گرفته شده است. بخش عمده ای از این مقاله به مطالعه پارامتریک بر روی سکوهای شماره ۱ و ۲ به عنوان سکوهای موجود در آبهای عمیق و کم عمق اختصاص یافته که در آن مهمترین عوامل تاثیرگذار بر عمر خستگی ضمن تحلیل کامل سکوها به کمک نرم افزار ANSYS مورد بررسی قرار گرفته اند. در بخش دیگر بوسیله آنالیز سکوی شماره ۳ به کمک نرم افزار SACS و داده های موج در عمق ۶۰ متری خلیج فارس، مقایسه ای بین نتایج روشهای طیفی و متعین صورت گرفته است.

کلمات کلیدی

خستگی، روش طیفی، سکوهای دریایی، اتصالات لوله ای، تنش حاد، تابع انتقال

Parametric Study of Spectral Fatigue Analysis of Connection in Fixed Offshore Platforms

M. Adl
M.Sc.

A.A. Aghakouchak
Professor Associate

Department of Civil Engineering, Engineering Faculty,
Tarbiat Modarres University

Abstract

Fatigue is an important part of in-service analysis of offshore structures which frequently determines the thickness of cans of jacket type structures. There are different methods for fatigue analysis of offshore structures, but the spectral fatigue analysis has special significance because this method is recommended by API-RP-2A code, and it is more accurate than other methods (specially the Deterministic Method). A major objective of this paper is assessment of the spectral method of analysis by investigating the sensibility of the results to different parameters. To achieve this objective, three models of platforms located in 150, 29 and 60 meters water depths are utilized. The major part of this paper is devoted to a parametric study on the first and second platforms in which the effects of different parameters have been studied using the ANSYS software. In another part of the paper, through an analysis of the third platform using the SACS software and the wave data from the 60m depth of the Persian Gulf, the Spectral Method has been thoroughly compared with the Deterministic method.

Keywords

Fatigue, Spectral Method, Offshore Platforms, Tubular Joints, Hot Spot Stress, Transfer Function

سکوهای دریایی، سازه‌های بسیار گران قیمتی هستند که برای و استخراج نفت و گاز از اعماق دریا ساخته می‌شوند. این سازه‌ها در طول عمر مفید خود در معرض نیروی متناوب حاصل از امواج دریا قرار می‌گیرند که این نیرو مهمترین عامل ایجاد پدیده خستگی در اعضاء و اتصالات سکوهای دریایی به شمار می‌رود. به دلیل پیچیدگی های هندسی اتصال و تمرکز تنش های زیادی که در آن وجود دارد، اتصالات مهمترین محل ایجاد و رشد ترکهای خستگی است و از این حیث دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد.

برای پیش بینی عمر خستگی، دو روش کلی وجود دارد: ۱ - روش مکانیک شکست ۲ - روش کلاسیک [۱]. در روش مکانیک شکست چگونگی رشد ترکها بررسی می‌شود، در حالی که در روش کلاسیک عمر اتصال به کمک منحنی های S-N تعیین می‌شود. در این روش تنش حاد اتصالات، ملاک تحلیل است. به دلیل سهولت استفاده از روش کلاسیک در آنالیز خستگی، اکثر آیین‌نامه‌ها این روش را مبنای کار خود قرار می‌دهند. برای به کارگیری این روش لازم است برای هر یک از اتصالات بحرانی سازه در اثر بارگذاری موج، محدوده تنش ایجاد شده و تعداد سیکل بارگذاری در طول طراحی سازه معین شود. بر این اساس به چهار روش کلی زیر می‌توان اشاره کرد: ۱ - روش ساده شده^۱ ۲ - روش متعین^۲ ۳ - روش طیفی^۴ - روش تاریخچه زمانی.

تحلیل طیفی بر مبنای تابع چگالی طیفی یا طیف انرژی که از مهمترین مشخصه‌های یک فرآیند تصادفی است، استوار است. این روش به عنوان روش توصیه شده توسط آئین‌نامه API-RP-2A [۲] از دقت قابل قبولی نسبت به دو روش ساده شده و متعین برخوردار است و از طرفی به دلیل برخورداری از یک پایه و اساس مشترک با روش تاریخچه زمانی، در اکثر موارد انتظار پاسخ یکسانی از دو روش می‌رود، مگر در آب های کم عمق که با بهبود روش طیفی می‌توان نتایج حاصل را به روش تاریخچه زمانی نزدیک نمود [۳]. دلایل فوق الذکر و این که هم اکنون روش طیفی به تدریج به عنوان جایگزین روش متعین در دفاتر مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اهمیت پرداختن به این روش را آشکار می‌سازد. در این مقاله ضمن بررسی اثر پارامترهای مختلف بر عمر خستگی حاصل از روش طیفی، مقایسه‌ای نیز بین نتایج دو روش طیفی و متعین صورت می‌گیرد.

مروری بر روش طیفی

اساس روش طیفی رابطه (۱) است که در آن $S_X(\omega)$ طیف ورودی، $H(\omega)$ تابع انتقال و $S_Y(\omega)$ طیف خروجی می‌باشند [۱]:

$$S_Y(\omega) = |H(\omega)|^2 \times S_X(\omega) \quad (1)$$

معمولاً در تحلیل خستگی، طیف موج یا $S_{\eta\eta}(\omega)$ را به عنوان طیف ورودی و طیف تنش حاد اتصال مورد نظر یا $S_{SS}(\omega)$ را به عنوان طیف خروجی در نظر می‌گیرند. در این حالت تابع انتقال با عبور یک موج هارمونیک از سکوی مورد نظر بدست می‌آید. تابع انتقال نسبت محدوده تنش به دامنه موج را به عنوان تابعی از فرکانس تعریف می‌کند. شکل ۱ فلوچارت تعیین عمر خستگی در یک اتصال را به روش طیفی نشان می‌دهد [۴]. همان گونه که ملاحظه می‌شود، دامنه تنش حاد اتصال در محاسبات خستگی ملاک قرار می‌گیرد برای این تعیین ضریب تمرکز تنش بسیار حائز اهمیت است. لازم به ذکر است که تابع انتقال در هشت موقعیت پیرامونی اتصال و در دو سمت عضو اصلی و فرعی به طور جداگانه محاسبه می‌شود؛ یعنی، برای هر اتصال ۱۶ تابع انتقال تعیین می‌شود و بحرانی ترین آنها ملاک قرار می‌گیرد. پس از تعیین طیف تنش، جهت ارزیابی خسارت ناشی از خستگی در اتصال مورد نظر از رابطه (۲) که با بسط رابطه ماینر بدست آمده است، استفاده می‌شود:

$$D = \frac{N}{k} \int_0^{\infty} s^m p(s) ds \quad (2)$$

در این رابطه k, m ثابت های منحنی S-N، $p(s)$ تابع چگالی احتمال سیکل های تنش و N کل سیکل های بارگذاری وارد بر

اتصال مورد نظر در یک حالت دریا است و به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$N = \frac{rL}{T_z} \quad (3)$$

که L عمر طراحی سازه و r درصدی از عمر طراحی است که این حالت دریا (با میانگین پریرود قطع تراز صفر با شیب مثبت T_z) اتفاق می‌افتد. نکته مهم در این قسمت انتخاب تابع چگالی احتمال مناسب و جایگزینی در رابطه (۲) است. در اکثر موارد با فرض باند باریک بودن طیف تنش، از یک توزیع رایلی برای تعریف محدوده تنش استفاده می‌شود که در این صورت نتایج محافظه کارانه‌ای حاصل می‌شود. بدین ترتیب تابع چگالی احتمال محدوده تنش به صورت زیر تعریف می‌شود [۵]:

$$p(s) = \frac{s}{\sigma^2(s)} \exp\left\{-\frac{s^2}{2\sigma^2(s)}\right\} \quad (4)$$

که $\sigma^2(s)$ واریانس تنش است و با توجه به تعریف طیف برابر است با سطح زیر منحنی طیف تنش. توابع چگالی احتمال دقیق‌تری توسط برخی از محققان ارائه شده است که یکی از مهمترین آنها رابطه Dirlik است [۶] و [۷]:

$$p_{RF}(s) = \frac{\frac{D_1}{Q} e^{-\frac{z}{Q}} + \frac{D_2 z}{R_2} e^{-\frac{z^2}{2R^2}} + D_3 z e^{-\frac{z^2}{2}}}{2(m_0)^{\frac{1}{2}}} \quad (5)$$

$$z = \frac{s}{2(m_0)^{\frac{1}{2}}} \quad ; \quad x_m = \frac{m_1}{m_0} \left(\frac{m_2}{m_4} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$D_1 = \frac{2(x_m - \gamma^2)}{1 + \gamma^2} \quad ; \quad D_2 = \frac{(1 - \gamma - D_1 + D_1^2)}{1 - R}$$

$$D_3 = 1 - D_1 - D_2$$

$$Q = \frac{1.25(\gamma - D_3 - D_2 R)}{D_1} \quad ; \quad R = \frac{\gamma - x_m - D_1^2}{1 - \gamma - D_1 + D_1^2}$$

$$\gamma = \frac{m_2}{\sqrt{m_0 m_4}}$$

که γ ضریب منظمی و m_0 تا m_4 ممانهای طیفی می‌باشند.

Wirsching نیز ضریب اصلاحی را به صورت زیر برای بهبود نتایج حاصل از توزیع رایلی (D_{NB}) معرفی می‌کند [۶] و [۷]:

$$D = D_{NB} \cdot \lambda(m, \varepsilon) \quad (6)$$

$$\lambda(m, \varepsilon) = a(m) + [1 - a(m)] (1 - \varepsilon)^{c(m)}$$

$$a(m) = 0.926 - 0.33m \quad ; \quad c(m) = 1.587m - 2.323$$

معرفی سکوه‌های مدل شده

در این تحقیق از مدل سه سکوی ثابت شابلونی در اعماق مختلف بهره گرفته شده است. سکوی شماره ۱ با ارتفاع کل ۱۷۵ متر در آبی به عمق ۱۵۰ متر واقع شده است و پلان مستطیلی جاکت آن به ابعاد 30×30 متر مربع در تراز آب به ابعاد 60×60 متر مربع در بستر دریا می‌رسد (شکل ۲). پایه اصلی به میزان $0/5$ متر در بستر دریا فرو برده شده و انتهای آن مقید شده است. نتایج حاصل از آنالیز مودال، حاکی از فرکانس $0/441$ هرتز برای مود اول این سکو است. سکوی شماره ۲ که در آبی به عمق ۲۹ متر واقع شده دارای ارتفاع کل $50/5$ متر است که $7/5$ متر آن در بستر دریا فرو رفته است (شکل ۳). سازه منشوری آن دارای پلان مستطیلی به ابعاد $15/5 \times 18/5$ متر مربع است که از ارتفاع $6/8$ متر تا 29 متر ادامه یافته است. فرکانس مود اول این سکو $1/058$ هرتز است. سکوی شماره ۳ که یک سکوی سه پایه است، علاوه بر عرشه دارای مشعلی به ارتفاع $65/35$ متر نیز هست (شکل ۴). این سکو در آبی به عمق $59/5$ متر واقع شده و ارتفاع کل آن به $141/35$ متر می‌رسد. فرکانس مود اول این سکو $0/672$ هرتز حاصل شده است.

با توجه به قابلیت‌های ویژه نرم افزار ANSYS و امکان برنامه‌نویسی در آن، این نرم افزار برای مطالعات پارامتریک انتخاب شده است و مدل سکوه‌های شماره ۱ و ۲ که به ترتیب نماینده سکوه‌های واقع در آبهای عمیق و کم عمق می‌باشند در این نرم افزار ایجاد شد. مدل سکوی شماره ۳ نیز برای مقایسه تحلیل‌های طیفی و متعین توسط نرم افزار SACS ساخته شد.

اثر پارامترهای مختلف بر روی نتایج حاصل از روش طیفی

به دلیل اینکه در آب‌های کم عمق استفاده از تئوری‌های موج غیر خطی ارجح است، لذا از دو سکوی شماره ۱ و ۲ برای مطالعات پارامتریک استفاده شد. در این دو سکو یکی از بحرانی‌ترین اتصالات برای بررسی عمر خستگی انتخاب شدند که عبارت بودند از اتصال مهاربند قائم به پایه جاکت در گره ۶۰۱ سکوی شماره ۱ (شکل ۲) و در گره ۳۰۳ سکوی شماره ۲ (شکل ۳). همچنین از طیف موج‌های جداول ۱ و ۲ برای آنالیز خستگی بهره گرفته شد. ابتدا یک مقدار مشخص به قرار زیر برای پارامترهای بررسی شده، در نظر گرفته و سپس در هر مرحله یکی از پارامترها با ثابت نگه داشتن بقیه، تغییر داده شد: راستای موج در جهت محور X (صفر درجه)، ضرایب نیروی پسا و اینرسی با فرض صاف بودن سطح اعضای جاکت طبق توصیه API [۲] به ترتیب $0/5$ و ۲، ارتفاع موج محدود به بزرگترین ارتفاع موج نشکسته، به کارگیری تحلیل دینامیکی جهت آنالیز سازه تحت اثر نیروی موج و استفاده از توزیع رایلی جهت تعیین عمر خستگی به کمک طیف پاسخ.

از آن جایی که در نرم افزار ANSYS امکان تحلیل طیفی خستگی وجود ندارد، لذا از قابلیت برنامه نویسی در محیط این نرم افزار استفاده شده و برنامه‌ای برای انجام تحلیل خستگی به روش طیفی ایجاد شد. به کمک این برنامه، نرم افزار ANSYS قادر به آنالیز طیفی خستگی می‌شود و به راحتی امکان تغییر هر یک از پارامترهای دلخواه میسر می‌گردد. در ادامه به هر یک از پارامترها و اثرات آنها بر روی عمر خستگی اشاره می‌شود. لازم به تذکر است، از آن جایی که هدف تنها مقایسه نتایج و بررسی نسبت آنها بوده است لذا نتایج عمر خستگی به صورت نسبی بیان شده‌اند.

۱- شیب موج: رابطه ارتفاع و نیروی موج یک رابطه عمدتاً غیر خطی است که بسته به شرایط مختلف ممکن است خطی شود. درحالتی که این رابطه کاملاً خطی باشد، انتخاب شیب موج و نهایتاً ارتفاع موج اهمیتی ندارند و شیب‌های مختلف منجر به یک نتیجه واحد می‌شود اما چنین وضعیتی کاملاً ایده آلی عملاً وجود ندارد چرا که اولاً تمامی نرم‌افزارها، نیروی موج را در تراز محلی آب محاسبه می‌کنند و ثانیاً رابطه نیروی پسا با ارتفاع موج به صورت غیر خطی است. در شرایطی که از تئوری‌های موج غیر خطی استفاده شود، این رابطه بیش از پیش غیر خطی می‌شود. برای بررسی این اثر، تحلیل خستگی به کمک شیب موج‌های مختلف بر روی دو سکوی فوق‌الذکر صورت گرفت. در سکوی ۱ تنها از تئوری موج ایری و در سکوی شماره ۲ از دو تئوری ایری و استوکس بهره گرفته شد. نتایج حاصل از این تحلیل‌ها در شکل‌های ۵ و ۶ آورده شده است. از این شکل‌ها به

دو نتیجه مهم می‌توان دست یافت. اول این که در محدوده شیب موج های کوچک، مقدار عمر خستگی بتدریج به یک عدد ثابت میل می‌کند که این در نتیجه خطی شدن رابطه ارتفاع و نیروی موج در ارتفاع های کم (شیب موجهای کوچک) است (شکل ۷). دومین نتیجه این که تئوری موج استوکس وضعیتی بحرانی‌تر نسبت به تئوری ایری در کلیه شیب موج ها ایجاد می‌کند. با کاهش شیب موج از اختلاف نتایج دو تئوری کاسته می‌شود به گونه ای که در شیب موج نزدیک به $1/30$ نتایج برابر می‌شوند. همان گونه که در شکل ۷ دیده می‌شود در محدوده فرکانس های کوچک مقدار آنها تقریباً برابر است و با افزایش فرکانس، ابتدا نیروی حاصل از تئوری استوکس غالب می‌شود و سپس از محدوده‌ای به بعد نیروی تئوری ایری، به شدت بر نیروی استوکس غلبه می‌کند. اما آنچه که باعث شده است تا عمر خستگی حاصل از تئوری استوکس کمتر از تئوری ایری شود، برتری نیرو و در نتیجه تابع انتقال تنش حاصل از تئوری استوکس در فرکانس های پر انرژی طیف موج است که این مسأله باعث افزایش سطح زیر منحنی طیف تنش تئوری استوکس نسبت به ایری می‌شود و عمر خستگی را کاهش می‌دهد.

۲- جهت موج: جهت موج نیز از عوامل بسیار تأثیرگذار بر عمر خستگی است به گونه ای که بسته به موقعیت عضو و رفتار سازه ممکن است یک جهت، بسیار مهم و بحرانی و جهتی دیگر کم اهمیت شود. برای بررسی دقیق این مطلب عمر خستگی در محدوده جهت‌های ۹۰- تا ۹۰+ درجه و در فواصل $22/5$ درجه تعیین و نتایجی به صورت گراف های ۸ و ۹ حاصل شد. لازم به ذکر است که در شکل ۹ به دلیل اختلاف بسیار زیاد نتایج، محور قائم به صورت لگاریتمی در نظر گرفته شده است. همچنین جهت مثبت و منفی نسبت به محور X سنجیده می‌شود، بطوریکه تغییر راستا از محور X به سمت Y، جهت مثبت و در خلاف آن جهت منفی تلقی می‌گردد. یکی از دلایلی که می‌توان برای حساسیت بیشتر سکوی شماره ۲ نسبت به راستای موج ذکر نمود، تفاوت فاصله گرہها از سطح آب است. نزدیکی گرہ به سطح آب در سکوی شماره ۱ باعث شده است که جهت قائم بر عضو (۹۰+ درجه) نسبت به راستای قرار گیری آن (صفر درجه) بحرانی تر گردد که علت این امر برتری تنش خمشی برون صفحه‌ای نسبت به تنش محوری و خمش درون صفحه‌ای است. بررسی اتصالات پائین تر سکوی شماره ۱ (جدول ۳) نشان می‌دهد که با افزایش فاصله از سطح آب بر اختلاف نتایج عمر خستگی در دو راستای عمود بر هم مرتباً افزوده می‌گردد و این مسأله می‌تواند دلیلی باشد بر حساسیت عمر خستگی در راستاهای مختلف موج نسبت به فاصله گرہ از سطح آب.

۳- پخش شدگی موج: در واقعیت انرژی موج تنها در یک راستا و جهت مشخص متمرکز نبوده بلکه این انرژی در جهات مختلف توزیع می‌شود. در نظر گرفتن این واقعیت می‌تواند باعث تغییرات زیادی در نتایج عمر خستگی گردد. برای بررسی این اثر، علاوه بر راستای اصلی، ۶ جهت دیگر نیز به فواصل $22/5$ درجه در نظر گرفته شده و به کمک تابع توزیع انرژی $D(\theta) = \frac{2}{\pi} \cos^2 \theta$ ، رابطه تحلیل طیفی به صورت زیر اصلاح می‌گردد [۲]:

$$S_{ss}(\omega) = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} |H(\omega, \theta)|^2 s_{\eta\eta}(\omega) d\theta \quad (7)$$

با در نظر گرفتن این اثر، برای دو سکو نتایجی به صورت جدول ۴ حاصل گردید. منطقی بودن این نتایج با توجه به شکلهای ۸ و ۹ به اثبات می‌رسد، چرا که در سکوی شماره ۱ به غیر از راستای $22/5$ - درجه، بقیه جهات در نظر گرفتن اثر پخش شدگی، عمر خستگی را بسیار کمتر از حالتی که این اثر در نظر گرفته نشود به دست می‌دهد. اما در سکوی شماره ۲ با وجود حساسیتی که نسبت به راستای موج وجود دارد و نتایج به میزان زیادی دارای پراکندگی می‌باشند، ولیکن در کل اثرات جهات مختلف موج یکدیگر را خنثی نموده و تغییر چندانی نسبت به حالت بدون پخش شدگی ایجاد نمی‌نمایند.

۴- تحلیل طیفی کاهش یافته: در روش طیفی کاهش یافته به جای آنالیز دینامیکی، از تحلیل استاتیکی نیروی موج جهت تعیین تابع انتقال استفاده می‌گردد و برای در نظر گرفتن اثرات دینامیکی موج، ضریب بزرگنمایی دینامیکی در تابع انتقال استاتیکی ضرب می‌شود و نهایتاً تابع بدست آمده به عنوان تابع انتقالی که شامل اثرات دینامیکی نیز می‌باشد، در تحلیل خستگی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۸]. نتایج حاصل از این تحلیل (جدول ۵) حاکی از دقت روش کاهش یافته در آبهای کم عمق است و علت اصلی آن در این است که ضریب بزرگنمایی دینامیکی با فرض سیستم یک درجه آزادی تعیین می‌گردد و با کاهش ارتفاع، رفتار سازه نیز به یک سیستم یکدرجه آزاد شباهت بیشتری پیدا می‌کند. بنابراین با افزایش عمق آب و پیرو

سازه از دقت روش طیفی کاهش یافته، کاسته شده و استفاده از این روش نتایج محافظه کارانه تری را حاصل می‌گرداند.

۵- زمان تناوب سازه: زمان تناوب سازه از جمله پارامترهایی است که می‌تواند تاثیر زیادی بر روی شکل تابع انتقال ایجاد نموده و عمر خستگی را به میزان قابل توجهی تغییر دهد. تغییرات زمان تناوب یک سکو ممکن است بدلیل تغییر وزن عرشه و یا تغییر در سختی سازه باشد، چرا که ممکن است در طول عمر مفید سکو، تجهیزاتی به عرشه آن اضافه و یا از آن کم شود یا اینکه سختی سازه بدرستی محاسبه نشده باشد. به همین دلیل آئین نامه API [۲] نیز از طراحان می‌خواهد تا زمان تناوب سازه را تا ۱۰٪ نسبت به مقدار اولیه جابجا نموده و بحرانی ترین وضعیت را ملاک طراحی قرار دهند. در این تحقیق، تغییر در زمان تناوب سازه از طریق تغییر جرم متمرکز در طبقات عرشه سکوها صورت گرفته و نتایجی به صورت جداول ۶ و ۷ حاصل گردیده است. نتیجه بدست آمده از این جداول نشانگر آن است که اولاً حساسیت عمر خستگی سکوه‌های مرتفع به پیروید سازه بیش از سکوه‌های کم ارتفاع است زیرا پیک دینامیکی تابع انتقال در سکوه‌های مرتفع در ناحیه فرکانسهای پر انرژی طیف موج واقع بوده و جابجایی این پیک می‌تواند تاثیرات زیادی در سطح زیر منحنی طیف تنش حاصل شده، ایجاد نماید. ثانیاً اینکه افزایش زمان تناوب سازه لزوماً باعث کاهش عمر خستگی نمی‌گردد. زیرا اگر چه افزایش زمان تناوب در اکثر موارد باعث جابجایی پیک دینامیکی و نزدیکی آن به پیک استاتیکی (پیک طیف موج) می‌گردد ولی لزوماً مقدار پیک ثابت نمانده و ممکن است کوچکتر شود (شکل ۱۰). کوچک شدن مقدار پیک دینامیکی ممکن است ناشی از قرار گرفتن آن در فرو رفتگی‌های حاصل از اندرکش طول موج و هندسه جاکت باشد. دلیل دیگر این است که ممکن است پیک دینامیکی در بین پیکهای استاتیکی (پیک طیف موجهای مختلف) قرار داشته و افزایش زمان تناوب باعث دور شدن پیک دینامیکی تابع انتقال از پیک طیف بحرانی (طیف موجی که بیشترین خسارت را ایجاد نماید) گردد.

۶- ضرایب C_M, C_D : ضرایب نیروی اینرسی و پسا، مقادیر متغیری بوده و به ضرایب و عوامل دیگری نظیر زبری سطح، عدد رینولدز، عددکولیگان - کارپنتر (K)^۳ و نسبت سرعت جریان به سرعت موج وابسته می‌باشند [۲]. معمولاً در انجام آنالیزهای سکو از ضرایب ثابت C_M, C_D استفاده می‌گردد. آئین نامه API در قسمت آنالیز خستگی توصیه دارد که برای امواج کوتاه ($1 < K < 6$) برای پایه‌های جاکت در سطح متوسط آب) مقادیر $C_M = 2, C_D = 0.8$ (برای اعضا با سطح زبر) و $C_M = 2, C_D = 0.5$ (برای اعضا با سطح صاف) در نظر گرفته شود. از آنجائیکه بنظر می‌رسد عدد K بیشترین اثر را در تغییر ضرایب C_M, C_D داشته باشد، لذا تاثیر این عدد در ضرایب C_M, C_D و نهایتاً عمر خستگی به کمک گرافهای توصیه شده توسط API مورد بررسی قرار گرفت. در این حالت هر المان سکو در هر فرکانسی از موج دارای ضرایب متفاوتی خواهد بود که این ضرایب تابعی از $K = UT/D$ می‌باشند. در این رابطه U ماکزیمم سرعت عمود بر المان، D قطر المان و T پیروید موج است. برای بررسی این اثر، تغییراتی در برنامه تحلیل طیفی اضافه شده به ANSYS ایجاد گردید تا برنامه قابلیت محاسبه عدد K و نهایتاً متغیر گرفتن ضرایب C_M, C_D را پیدا کند. بدین ترتیب نتایجی به صورت جدول ۸ حاصل گردید. بررسی مقادیر C_M, C_D در المانهای مختلف و در پیرودهای گوناگون موج نشان داد که در هر دو سکو مقادیر بدست آمده برای C_M اکثراً همان مقدار توصیه شده توسط API ($C_M = 2$) است این در حالی است که مقدار C_D بسیار متغیر بوده بطوریکه در فرکانسهای کوچک موج مقادیر کوچکتر از واحدی داشته و بتدریج با افزایش فرکانس موج بر مقدار آن افزوده می‌گردد و گاهاً مقادیری حدود ۲/۴ (برای اعضا با سطح زبر) را به خود اختصاص می‌دهد. این تغییرات در مقادیر C_D باعث تغییر شکل تابع انتقال نسبت به حالت ضرایب ثابت، در محدوده فرکانسهای کوچک می‌گردد (شکل‌های ۱۱ و ۱۲)، چرا که نیروی پسا در موجهای با پیروید بلند، نیروی غالب بوده و اختلاف ضریب C_D با مقدار ثابت آن منجر به بالا یا پایین شدن تابع انتقال می‌گردد. نکته قابل ذکر این است که از حالت بررسی شده در دو سکو تنها در یک حالت (اعضا با سطح زبر در سکوی شماره ۱) متغیر گرفتن ضرایب C_M, C_D منجر به افزایش مقادیر تابع انتقال و در نتیجه کاهش عمر خستگی شده است. این نشان می‌دهد که در بسیاری از موارد، استفاده از ضرایب ثابت C_M, C_D ممکن است مقادیر محافظه کارانه تری را حاصل گرداند.

۷- تابع چگالی احتمال: از بین پارامترهای بررسی شده، تابع چگالی احتمال تنها عاملی است که بر روی شکل تابع انتقال و طیف تنش تاثیری نداشته و تنها در محاسبات عمر خستگی دخیل است. در این قسمت نتایج حاصل از روابط Wirsching و Dirlik (با فرض $m=4.38$) با توزیع رایلی مقایسه شده است (جداول ۹ و ۱۰). همانگونه که ملاحظه می‌شود توزیع رایلی همواره محافظه کارانه بوده و با کاهش عرض باند طیف تنش از اختلاف نتایج رایلی و Dirlik نیز کاسته می‌شود در حالیکه

روش Wirsching یک نسبت تقریباً ثابت را در طیف موجهای مختلف نشان می‌دهد و نتایج آن حساسیت زیادی نسبت به پارامتر عرض باند ندارند.

مقایسه نتایج تحلیل طیفی و متعین

روش متعین یک روش ساده جهت تحلیل خستگی است که در آن امواج هارمونیک با ارتفاع و تعداد مشخص (در طول یکسال) به سازه اعمال شده و محدوده تنش حد اتصال مورد نظر تعیین و به کمک رابطه ماینر، عمر خستگی حاصل می‌گردد [۱]. بنابراین در روش متعین داده‌های ورودی شامل تعداد امواج نظیر هر ارتفاع موج در طول یکسال می‌باشد که این داده‌ها معمولاً به کمک طیفهای موج (داده‌های ورودی روش طیفی) تعیین می‌گردند.

برای مقایسه دو روش، از مدل سکوی شماره ۳ و نرم افزار SACS و نیز داده‌های موج در عمق ۶۰ متری خلیج فارس بهره گرفته شد. این داده‌ها برای هشت جهت موج بوده که در مورد روش طیفی شامل دیاگرام پراکندگی جهت دار موج می‌باشد و برای روش متعین تعداد امواج نظیر هر ارتفاع موج را بیان می‌کند و از روی همان دیاگرامهای پراکندگی نیز تعیین شده‌اند. در این تحقیق عمر خستگی کلیه اتصالات مربوط به گره‌های ۴۰۰ و ۴۵۰ و ۴۹۰ (شکل ۴) به کمک شیب موج 1/15 برای هر دو روش بررسی شده و نتایجی به صورت جدول ۱۱ حاصل گردیده است. عمر خستگی حاصل از روش طیفی به طور کلی کمتر از روش متعین بدست آمده است. جهت بررسی علت بوجود آمدن چنین نتیجه‌ای و اینکه آیا امکان تعمیم آن وجود دارد یا خیر باید دو روش طیفی و متعین را به یک قالب مشترک تبدیل نمود. بدین منظور فرض می‌شود که از داده‌های روش متعین جهت انجام تحلیل طیفی استفاده می‌گردد یعنی از امواج هارمونیک روش متعین برای تعیین تابع انتقال مربوط به روش طیفی بهره گرفته می‌شود. برای اینکه امکان یک مقایسه کلی بین داده‌های روش طیفی و متعین میسر شود تابع انتقال برش پایه سکوی شماره ۳ در جهت محور x و برای داده‌های روش متعین و طیفی به صورت شکل ۱۳ ارائه گردیده است.

خسارت ناشی از خستگی با سطح زیر منحنی طیف پاسخ رابطه مستقیم دارد که این سطح نیز به مقادیر طیف موج و تابع انتقال وابسته است. در شکل ۱۳ تابع انتقال روش طیفی به کمک حدود ۳۰ موج هارمونیک بدست آمده و سعی شده است که فاصله فرکانسها به گونه‌ای باشند که به خوبی پیک دینامیکی را ایجاد نمایند، اما تابع انتقال روش متعین اجباراً به کمک پررودهای خاصی که در واقع داده‌های ورودی روش متعین می‌باشند، بدست می‌آید. این مطلب باعث گردیده است که محدوده فرکانسهای در نظر گرفته شده در روش متعین کمتر از روش طیفی شده و نیز پیک دینامیکی در تابع انتقال ظاهر نشود و نهایتاً عمر خستگی در روش متعین بیش از روش طیفی حاصل گردد. بنابراین اگر از روش متعین جهت تحلیل خستگی استفاده می‌شود باید حتی المقدور سعی شود که تعداد بیشتری پررود و با فواصل مختلف به عنوان داده ورودی انتخاب گردد. اما مشکل اصلی این است که معمولاً برای انجام تحلیل خستگی به روش متعین مستقیماً از داده‌هایی که توسط یک موسسه معتبر بدست آمده استفاده می‌شود و طراح امکان تغییر در این داده‌ها را ندارد و لذا تعداد امواج هارمونیک در نظر گرفته شده برای تحلیل خستگی در هر جهت محدود به داده‌های این جداول می‌باشد.

نتیجه گیری

در این مقاله اثر برخی از پارامترهای مهم در نتایج عمر خستگی مورد بررسی قرار گرفت و نتایجی به صورت زیر حاصل گردید:

- ۱- بدلیل اینکه رابطه ارتفاع و نیروی موج در اکثر موارد یک رابطه غیر خطی است، لذا بطورکلی افزایش شیب موج باعث کاهش عمر خستگی می‌گردد.
- ۲- افزایش فاصله اتصال از سطح آب باعث افزایش حساسیت عمر خستگی اتصال نسبت به جهت موج می‌شود.
- ۳- در آبهای کم عمق استفاده از روش طیفی کاهش یافته با توجه به سرعت و دقت آن، مقرون به صرفه بوده و نتایج دقیقی را حاصل می‌گرداند.
- ۴- تغییر زمان تناوب سازه در عمر خستگی سکوه‌های کم ارتفاع نقش چندانی ایفا نمی‌کند، در حالیکه در سکوه‌های مرتفع بسیار

تاثیر گذار می باشد.

۵- تاثیر متغیر گرفتن ضرایب C_D, C_M به طور عمده در امواج بلند (فرکانسهای کوچک) است زیرا تنها ضریب C_D تغییرات زیادی داشته و در مواقعی از مقدار ثابت توصیه شده توسط API بسیار فاصله می گیرد و در امواج بلند اثر ضریب C_D به دلیل غالب بودن نیروی پسآبشتر است.

۶- استفاده از توزیع رایلی جهت محاسبه عمر خستگی همواره نتایج محافظه کارانه ای را حاصل می گرداند و با کاهش عرض باند طیف تنش، از اختلاف نتایج توزیع رایلی و Dirlik کاسته شده و بر دقت توزیع رایلی افزوده می گردد.

۷- مقایسه نتایج روش طیفی و متعین نشان می دهد که مهمترین علت دقیق بودن روش طیفی، امکان استفاده از تمامی امواجی است که در ایجاد خستگی نقش دارند، در حالیکه در روش متعین بدون توجه به زمان تناوب سازه ناگزیر به استفاده از یکسری امواج خاص می باشیم.

جدول (۱) طیف موجهای در نظر گرفته شده در سکوی شماره ۱.

حالت دریا	H_s (ft)	T_z (sec)	r (درصد وقوع)
۱	۲۷/۶۵	۹/۰۲	۰/۰۱۳۵
۲	۲۲/۶۴	۸/۲۴	۰/۰۲۶۵
۳	۱۸/۲۵	۷/۳۱	۰/۰۶
۴	۱۲/۵۷	۶/۴۶	۰/۲۱
۵	۷/۵۲	۵/۴۷	۰/۱۵
۶	۲/۵۱	۳/۱۲	۰/۱۹

جدول (۲) طیف موجهای در نظر گرفته شده در سکوی شماره ۲.

حالت دریا	H_s (m)	T_z (sec)	r (درصد وقوع)
۱	۳	۷/۵	۰/۰۲
۲	۲/۵	۶/۵	۰/۰۶۷
۳	۲	۶	۰/۱۴۲
۴	۱/۵	۵	۰/۲۴۱
۵	۱	۴	۰/۳۹۱
۶	۰/۷	۳	۰/۲۳۹

جدول (۳) نسبت عمر خستگی در دو راستای x و y در گره های مختلف سکوی شماره ۱.

شماره گره	شماره عضو فرعی اتصال	فاصله از سطح دریا (ft)	عمر خستگی در راستای محور x	عمر خستگی در راستای محور y
۶۰۱	۸۹	۱۰	۱	۰/۰۷
۵۰۷	۱۰۳	۱۰۰	۱	۱۳/۱
۴۰۱	۸۷	۲۰۰	۱	۳۶۸۷
۳۰۷	۱۰۱	۳۰۰	۱	۴۹۹۱۲/۸۶
۲۰۱	۸۵	۴۰۰	۱	۷۸۷۴۰۱۵۷/۴۸

جدول (۴) اثر پخش شدگی موج بر روی نتایج عمر خستگی.

بدون پخش شدگی	با پخش شدگی	سکوی شماره
۱	۰/۵۰۲	۱
۱	۱/۰۴۶	۲

جدول (۵) مقایسه عمر خستگی حاصل از روش طیفی کاهش یافته با نتایج تحلیل دینامیکی.

روش طیفی کاهش یافته	تحلیل دینامیکی	
۰/۴۲۸	۱	سکوی شماره ۱
۰/۹۷۱	۱	سکوی شماره ۲

جدول (۶) نتایج عمر خستگی برای پیوندهای مختلف سکوی شماره ۱.

عمر خستگی	T (sec)	f (Hz)	میزان جرم موجود در هریک از طبقات عرشه ($KIPS \cdot S^2/f_i$)
۱	۲/۲۶۷	۰/۴۴۱	۰
۰/۷۶۱	۲/۹۸	۰/۳۳۵	۱۰
۰/۱۶۶۲	۳/۲۸	۰/۳۰۴	۱۵
۰/۸۳۸	۳/۵۶	۰/۲۸۱	۲۰
۰/۱۶۸۱	۳/۸۲	۰/۲۶۲	۲۵
۰/۵۱۴	۴/۰۶	۰/۲۴۶	۳۰

جدول (۷) نتایج عمر خستگی برای پیوندهای مختلف سکوی شماره ۲.

عمر خستگی	T (sec)	f (Hz)	میزان جرم موجود در هریک از طبقات عرشه ($t \cdot S^2/f_i$)
۱	۰/۹۴۶	۱/۰۵۷	۳۲
۰/۹۲۹	۱/۰۱۹	۰/۹۸۱	۴۲
۰/۹۰۳	۱/۱۲۲	۰/۸۹۱	۵۷
۰/۸۱۳	۱/۱۸۸	۰/۸۴۲	۶۷
۰/۷۴۵	۱/۳۰۵	۰/۷۶۶	۸۷

جدول (۸) مقایسه عمر خستگی حاصل از ضرایب C_M و C_D ثابت و متغیر.

Rough Members		Smooth Members		
ضرایب متغیر	ضرایب ثابت $C_D=0.8$ $C_M=2$	ضرایب متغیر	ضرایب ثابت $C_D=0.5$ $C_M=2$	
۰/۲۶۲	۱	۱/۷۷	۱	سکوی شماره ۱
۱/۶۱	۱	۷۹/۶۷	۱	سکوی شماره ۲

جدول (۹) مقایسه عمر خستگی حاصل از توزیع رایلی، Dirlik و ضریب اصلاح Wirsching در سکوی شماره ۱.

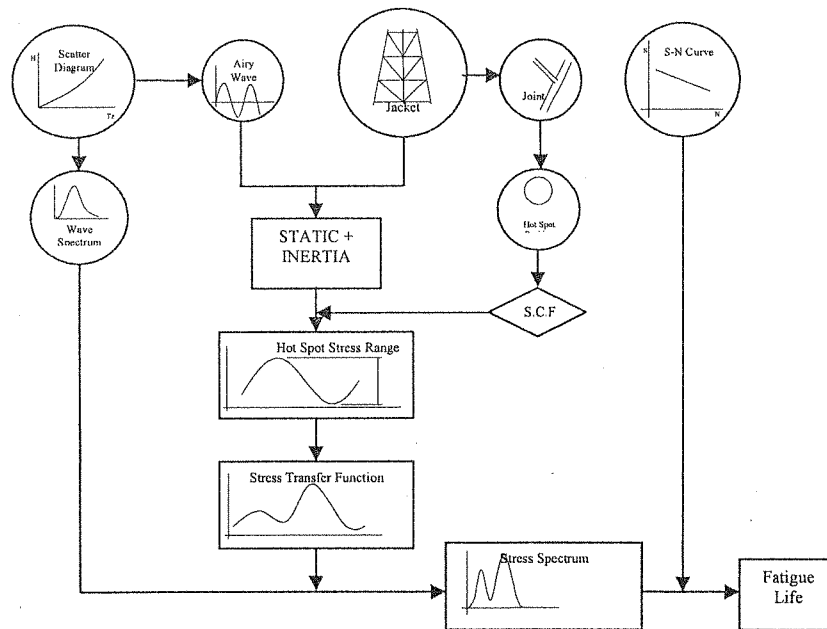
Dirlik	Wirsching	Rayleigh	(ϵ) عرض باند	حالت دریا
۱/۵۲۶	۱/۲۷۸	۱	۰/۷۲	۱
۱/۵۳۸	۱/۲۷۹	۱	۰/۷۲	۲
۱/۵۴۹	۱/۲۷۹	۱	۰/۷۲	۳
۱/۵۲۸	۱/۲۷۸	۱	۰/۷۱	۴
۱/۴۲۲	۱/۲۷۷	۱	۰/۶۶	۵
۱/۱۱	۱/۲۷۱	۱	۰/۵۶	۶
۱/۵۳۷	۱/۲۷۸	۱		مجموع

جدول (۱۰) مقایسه عمر خستگی حاصل از توزیع رایلی، Dirlik و ضریب اصلاح Wirsching در سکوی شماره ۲.

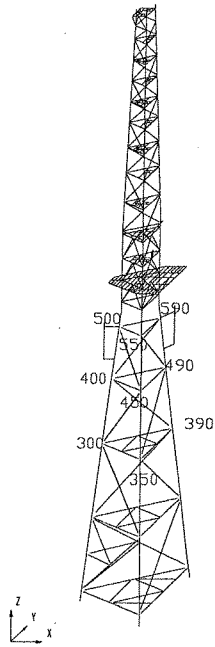
Dirlik	Wirsching	Rayleigh	(ϵ) عرض باند	حالت دریا
۱/۵۲۲	۱/۲۷۹	۱	۰/۷۱	۱
۱/۴۹	۱/۲۷۹	۱	۰/۷	۲
۱/۴۹۵	۱/۲۷۹	۱	۰/۷	۳
۱/۵۱۸	۱/۲۷۹	۱	۰/۷۱	۴
۱/۴۵	۱/۲۷۹	۱	۰/۶۸	۵
۱/۰۸	۱/۲۶۹	۱	۰/۵۴	۶
۱/۵۰۷	۱/۲۷۹	۱		مجموع

جدول (۱۱) عمر خستگی بدست آمده از روشهای طیفی و متعین در اتصالات مختلف سکوی شماره ۳.

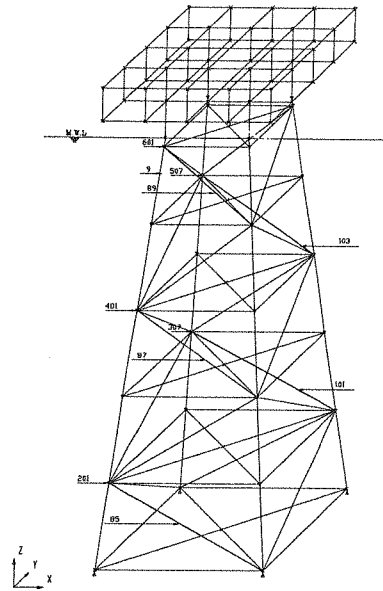
شماره گره	شماره المان	عمر خستگی (سال)	
		طیفی $S=1/15$	متعین $S=1/15$
۴۰۰	۴۰۰-۳۹۰	۱۹۱۰	۱۱۱۱۰
۴۰۰	۴۰۰-۴۵۰	۶۴۸۸	۴۴۷۴
۴۰۰	۴۰۰-۴۹۰	۴۱۶۹	۲۶۴۸۸
۴۰۰	۴۰۰-۵۹۰	۶۳۱۰	۲۰۳۳۱۲
۴۵۰	۴۵۰-۳۰۰	۱۶۸۲	۶۴۱۸
۴۵۰	۴۵۰-۴۰۰	۲۰۰۰۶	۶۷۳۲۱
۴۵۰	۴۵۰-۴۹۰	۱۸۵۰	۴۰۸۷
۴۵۰	۴۵۰-۵۰۰	۱۰۳۲۳	۷۱۲۸۸۹
۴۹۰	۴۹۰-۳۵۰	۸۳۲۸	۱۰۷۲۶
۴۹۰	۴۹۰-۴۰۰	۱۱۵۴	۲۱۷۸
۴۹۰	۴۹۰-۴۵۰	۶۱۴۵	۴۰۳۰۴
۴۹۰	۴۹۰-۵۵۰	۷۱۶۷	۱۷۴۱۳۸



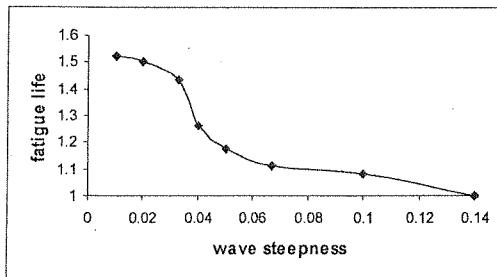
شکل (۱) فلوچارت روش طیفی.



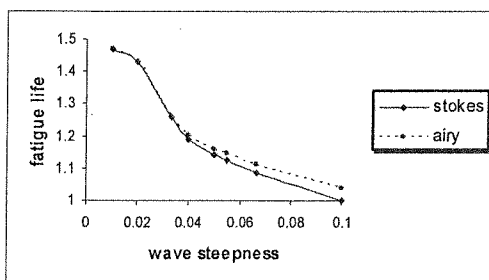
شکل (۴) سکوی شماره ۳ و اتصالات
در نظر گرفته شده در آن.



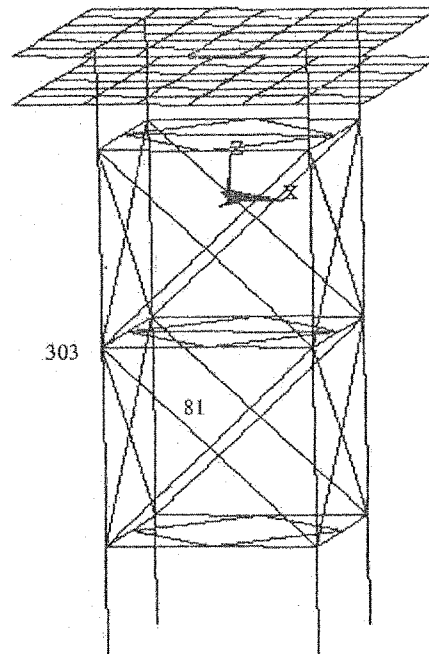
شکل (۲) سکوی شماره ۱ و شماره المانها و
گره‌های بررسی شده در این سکو.



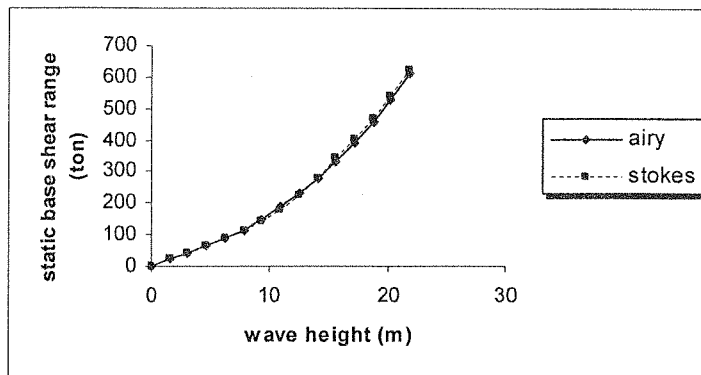
شکل (۵) رابطه شیب موج و عمر خستگی در سکوی
شماره ۱ (تنوری موج ایری).



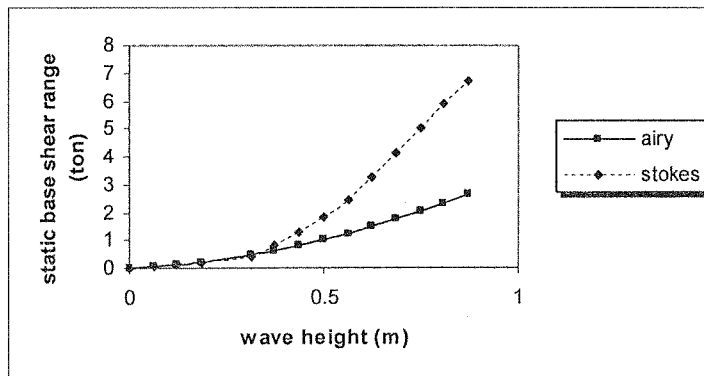
شکل (۶) رابطه شیب موج و عمر خستگی برای دو تنوری
موج ایری و استوکس در سکوی شماره ۲.



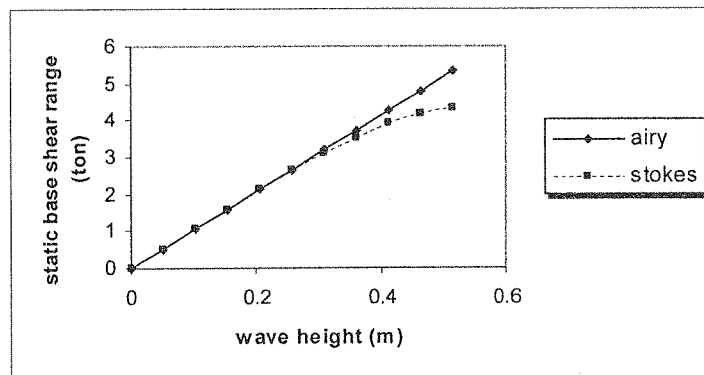
شکل (۳) سکوی شماره ۲ و اتصال بررسی شده در این سکو.



الف - $f=0.1$ Hz

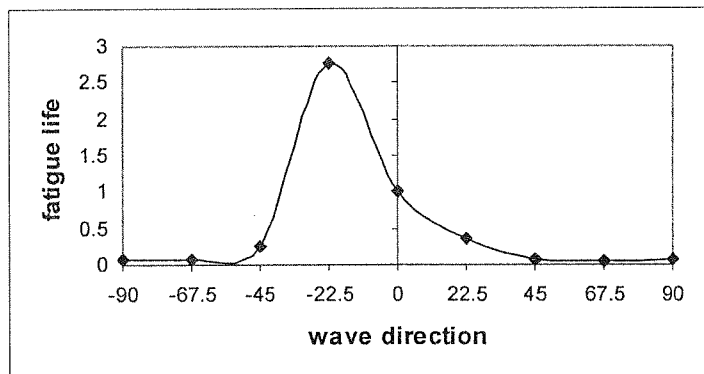


ب - $f=0.5$ Hz

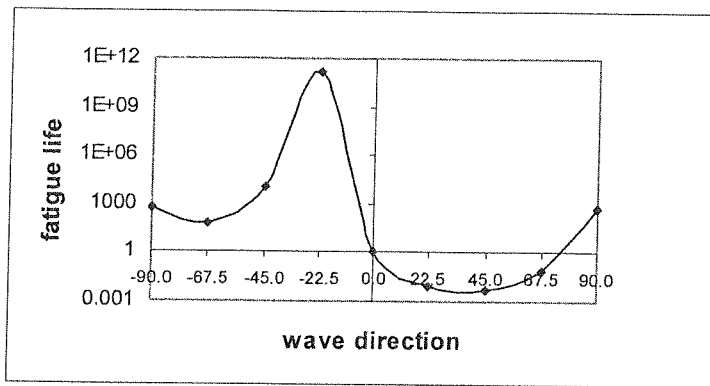


ج - $f=0.55$ Hz

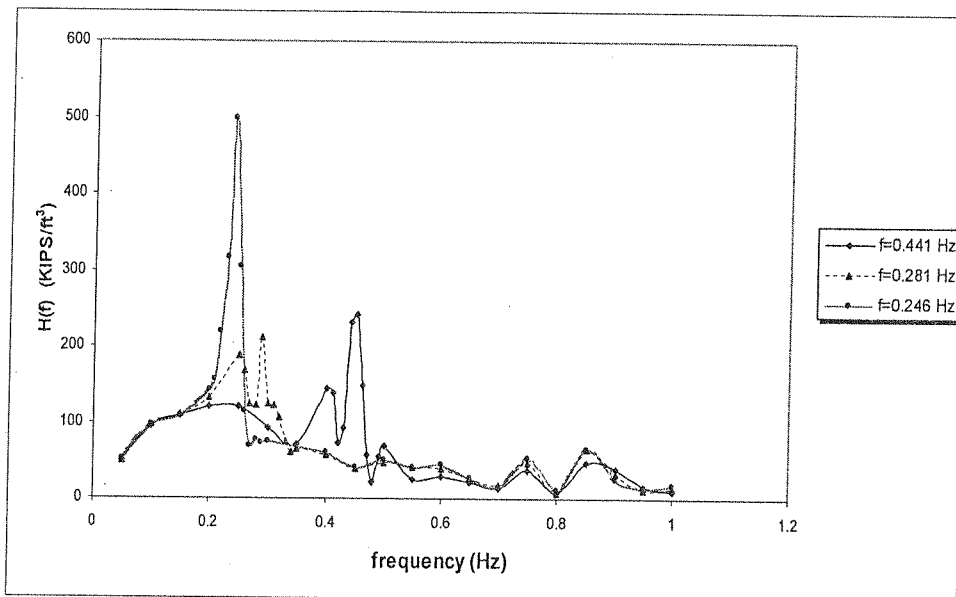
شکل (۷) رابطه ارتفاع موج - محدوده برش پایه استاتیکی (محدوده نیروی موج) در سکوی شماره ۲.



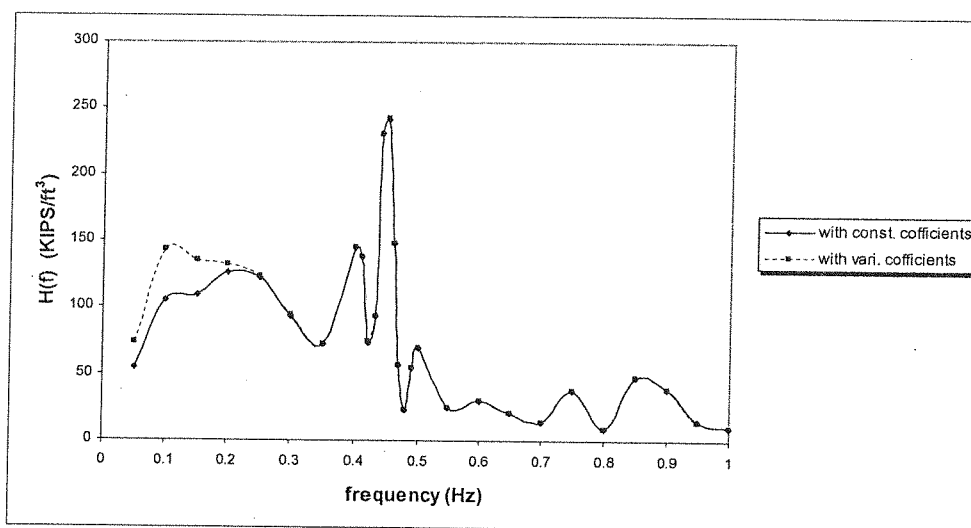
شکل (۸) رابطه جهت موج و عمر خستگی در سکوی شماره ۱.



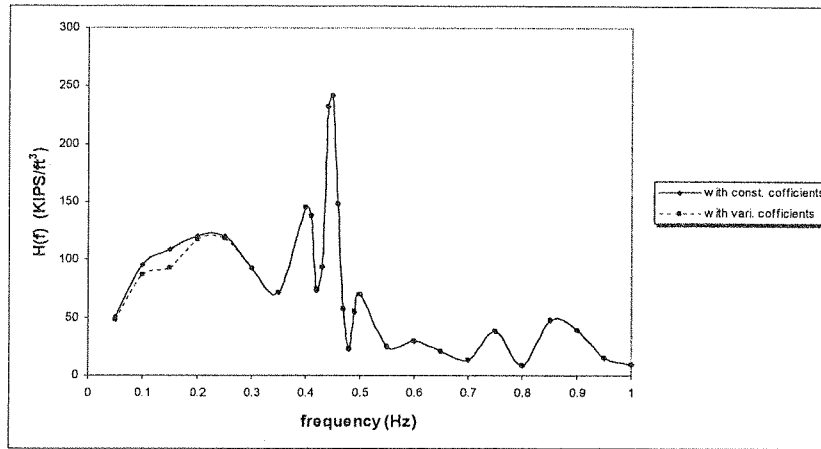
شکل (۹) رابطه جهت موج و عمر خستگی در سکوی شماره ۲.



شکل (۱۰) مقایسه توابع انتقال حاصل از پربردهای مختلف سکوی شماره ۱.

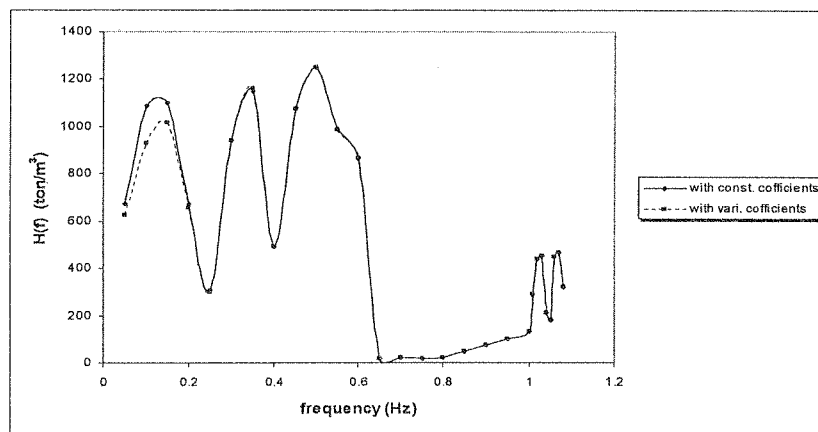


الف - Rough Members

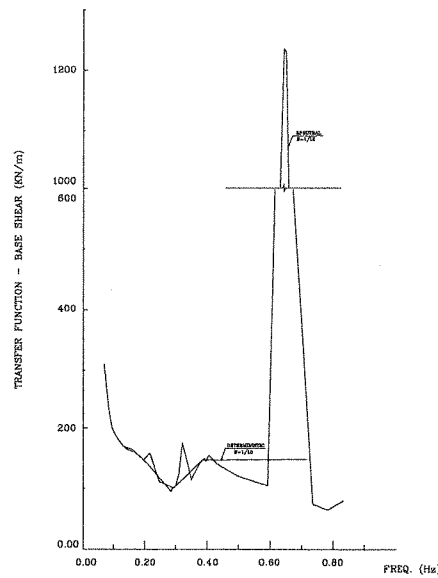


ب - Smooth Members

شکل (۱۱) مقایسه توابع انتقال با ضرایب C_M و C_D ثابت و متغیر در سکوی شماره ۱.



شکل (۱۲) مقایسه توابع انتقال با ضرایب C_M و C_D ثابت و متغیر در سکوی شماره ۲.



شکل (۱۳) مقایسه تابع انتقال برش پایه روش طیفی و متعین.

- 1- Simplified
- 2- Deterministic
- 3- Keulegan-Carpenter Number

مراجع

- [1] A.Naess, Fatigue Handbook, Tapir, Norges tekniske hogskole, (1985).
- [2] API (American Petroleum Institute) Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Design-(RP 2A-WSD), 21st edition, (2000).
- [3] N.W.M.Bishop, Q. Feng, P.Schofield, M. Kirkword and T. Turner, Spectral Fatigue Analysis of Shallow Water Jacket Platforms, Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Vol 118, 190-197, (1996).
- [4] S.Khurana, G.Jones and Y.O.Bayazitoglu, Structural Simulation Effect on Fatigue Life Prediction of Fixed Offshore Platform, Offshore and Arctic Operations, Vol 58, 31-37, (1994).
- [5] SACS User's Manual, Engineering Dynamics Inc, Louisiana, (1998).
- [6] N.D.P.Barltrop and A.J.Adams, Dynamics of Fixed Marine Structures, Butterworth-Heinemann Ltd, Third Edition, (1991).
- [7] N.W.M.Bishop and F.Sherratt, Fatigue Life Prediction from Power Spectral Density Data, Part 2: Recent Developments Environmental Engineering, Vol.2, 11-19, (1989).
- [8] O.C.Zienkiewicz, R.W.Lewis.RW and K.G.Stagg, Numerical Methods in Offshore Engineering, Wiley Interscience publication, (1985).

