



تحلیل تنش، کرنش و تخمین عمر خستگی سکوی حفاری نیمه شناور امیر کبیر به روش تنش نقطه حاد در شرایط محیطی دریای خزر

رحمت ا... قاجار^{1*}، سید محمد نوید قریشی²

1- استاد مهندسی مکانیک، آزمایشگاه خواص مکانیکی مواد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
2- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، آزمایشگاه خواص مکانیکی مواد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران
* تهران، صندوق پستی 19991-43344، ghajar@kntu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 23 اردیبهشت 1393

پذیرش: 25 تیر 1393

ارائه در سایت: 04 آبان 1393

کلید واژگان:

سکوی حفاری نیمه شناور

نیروهای هیدرودینامیکی

خستگی

تنش نقطه حاد

تحلیل خستگی یکی از مهمترین بخش های طراحی سکوهای فراساحلی است. این تحلیل با توجه به وجود نیروهای متناوب ناشی از امواج، جریانات دریایی، باد و غیره در محیط دریا از اهمیت ویژه ای برخوردار است. یکی از متداول ترین روش ها برای محاسبه عمر خستگی سکوهای دریایی، استفاده از روش تنش نقطه حاد است. در این روش تنش در پای جوش توسط برون یابی از توزیع تنش در مجاورت جوش که توسط روش اجزای محدود یا با استفاده از اندازه گیری کرنش بدست آمده است، تخمین زده می شود. در این مقاله برای محاسبه عمر خستگی سکوی حفاری نیمه شناور امیر کبیر، ابتدا با توجه به اطلاعات و ابعاد موجود این سکو مدل سازی می شود. سپس با توجه به شرایط محیطی دریای خزر نیروهای هیدرودینامیکی وارده بر سکو ناشی از امواج دریا، جریان دریایی و باد محاسبه می شوند. در ادامه نیروهای هیدرودینامیکی محاسبه شده به سکو منتقل می شوند و میدان های تنش و کرنش ناشی از این نیروهای هیدرودینامیکی در کل سکو تعیین می شود. با توجه به توزیع تنش و کرنش، محل اتصال ستون و پاتون به عنوان اتصال بحرانی در کل سکو شناسایی و عمر خستگی آن به روش تنش نقطه حاد با استفاده از برون یابی خطی و درجه دوم محاسبه می شود.

Analysis of stress, strain and estimation of the fatigue life of amir kabir semi-submersible drilling platform by using hot spot method in Caspian Sea

Rahmatollah Ghajar*, Seyed Mohammad Navid Ghoreishi

Department of Mechanical Engineering, Mechanical Properties Lab, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

* P.O.B. 19991-43344 Tehran, Iran, ghajar@kntu.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 13 May 2014
Accepted 16 July 2014
Available Online 26 October 2014

Keywords:

Semi-Submersible Drilling Platform
Hydrodynamic Loads
Fatigue
Hot Spot Stress

ABSTRACT

Offshore platforms are exposed to random cyclic loads imposed on the structure by natural phenomena including waves, sea currents, wind and etc, so fatigue analysis of these structures is one of the most important design steps. Hot spot method is one of the most common techniques for evaluation of the fatigue life of offshore platforms. In this approach, the stress adjacent to the weld is estimated by extrapolation from the stress distribution approaching the weld, as obtained by finite element method or perhaps from strain measurements on the surface. In order to calculate the fatigue life of Amir Kabir semi-submersible drilling platform, first a model of platform is created. Then according to the environmental conditions of the Caspian sea, hydrodynamic forces exerted on the platform are calculated. The simulated hydrodynamic forces are then applied to the platform structure for calculating the stress and strain field in the whole structure. It is found that the intersection of column and pontoon is the critical section of the platform and hence the fatigue life of the structure is predicted in terms of conditions of this location.

1- مقدمه

جک آپ⁴، نیمه شناور⁵ و کشتی سان⁶ در مکان هایی که عمق آب زیاد است مورد استفاده قرار می گیرند. هزینه نصب نسبتاً پایین و پایداری بالای سکوها ثابت، مهمترین مزایای این سکوها می باشند. در مقابل قابلیت تغییر مکان سکو بعد از انجام عملیات حفاری و امکان حفاری در اعماق زیاد آب از مهمترین مزایای سکوها شناور و متحرک است. وجود منابع عظیم نفتی در

سکوها حفاری یکی از انواع سازه های دریایی هستند که برای اکتشاف و استخراج نفت و گاز در دریا استفاده می شوند. این سکوها به دو نوع ثابت و شناور تقسیم می شوند. سکوها ثابت مانند شابلونی¹، برجی²، وزنی³ و غیره بیشتر برای آب های کم عمق مناسب هستند. سکوها شناور و متحرک مانند

4- Jack Up
5- Submersible
6- Ship-Type

1- Template
2- Tower
3- Gravity

Please cite this article using:

R. Ghajar, S.M.N. Ghoreishi, Analysis of stress, strain and estimation of the fatigue life of amir kabir semi-submersible drilling platform by using hot spot method in Caspian Sea, Modares Mechanical Engineering, Vol. 14, No. 15, pp. 345-351, 2015 (In Persian)

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

حفاری نیمه شناور امیرکبیر پرداختند. آنها با مقایسه بین پاسخ جابجایی قائم و غلتش حول محور عرضی مدل اصلی سکو امیرکبیر (مدل بدون وجود صفحات هیو) و مدل سکوی امیرکبیر با وجود صفحات هیو تحت امواج دریای خزر با زاویه برخوردی متفاوت به این نتیجه رسیدند که اضافه کردن صفحات هیو موجب بهبود رفتار هیدرودینامیکی سکوی امیرکبیر به خصوص پاسخ جابجایی قائم و غلتش حول محور عرضی برای امواج در تمام جهات می شود.

با توجه به مطالب و پیشینه تحقیق ارائه شده مشخص می شود که محاسبه نیروهای وارده به سکوهای دریایی و متعاقب آن توزیع تنش و کرنش در کل سکو و تعیین عمر خستگی سکو کمتر مورد توجه محققان قرار گرفته است. همچنین به محاسبه نیروهای ناشی از امواج دریا، جریان دریایی و باد (که از جمله مهمترین نیروهای محیطی وارد بر سکوهای دریایی هستند) به طور همزمان کمتر پرداخته شده است. لذا در این مقاله نخست به محاسبه نیروهای ناشی از امواج دریا، جریان دریایی و باد به طور همزمان و سپس به تعیین توزیع تنش و کرنش در کل سکو پرداخته می شود. در نهایت با توجه به توزیع تنش و کرنش در کل سکو، اتصال بحرانی سکو شناسایی شده و عمر خستگی این اتصال به روش تنش نقطه حاد⁵ محاسبه می شود.

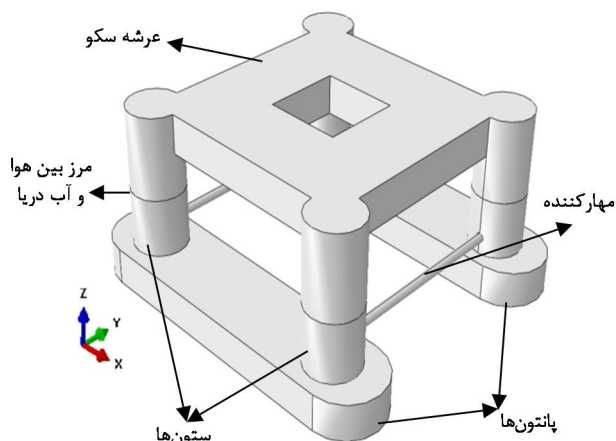
2- مدل سازی سکوی حفاری نیمه شناور امیرکبیر

سکوی حفاری امیرکبیر از سکوهای نیمه شناور نوع GVA 4000 است. این سکو برای بهره برداری در دریای خزر و عمق حدود 1000 متر طراحی و ساخته شده و دارای مشخصات اصلی زیر است [9].

ارتفاع تا سقف عرشه: (متر) 36/5	قطر ستون ها: (متر) 12/9
عرض خارج از پانتون ⁶ : (متر) 73/4	قطر مهارکننده: (متر) 2
طول پانتون: (متر) 80/56	فاصله طولی ستون ها: (متر) 54/72
عرض پانتون: (متر) 18/68	فاصله جانبی ستون ها: (متر) 54/72
ارتفاع پانتون: (متر) 7/5	ارتفاع تا کف عرشه: (متر) 28/5
وزن کل سکو: (تن) 28621	عمق آبخوری سکو: (متر) 19/5

با توجه به ابعاد و اطلاعات فوق برای مدل سازی سکو ابتدا هر یک از بخش های اصلی سکو به طور مجزا مدل می شوند و سپس اجزای مدل شده، با یکدیگر مونتاژ می گردند. در شکل 1 نمایی از مدل ساخته شده از سکوی حفاری نیمه شناور امیرکبیر نشان داده شده است.

پایداری و کاهش حرکات سکوی امیرکبیر در محل حفاری، توسط سیستم مهاربندی تأمین می شود.



شکل 1 نمایی از مدل سکوی حفاری نیمه شناور امیرکبیر

حوزه ی دریای خزر و ضرورت استخراج و بهره برداری از حوزه نفتی ایران که در قسمت آب های عمیق این دریا واقع شده، استفاده از سکوهای حفاری نیمه شناور را الزامی می کند. به علت اهمیت استخراج مداوم نفت از این سکوها تعطیلی سکو به علت خرابی و تعمیرات می تواند باعث هدر رفتن مقدار زیادی از سرمایه های ملی شود. عمده ترین خرابی سکوها، پدیده خستگی است. برای جلوگیری از این خرابی شناسایی اعضای بحرانی سکو و تعیین عمر خستگی آنها برای تعویض این اعضا قبل از پایان عمر خود امری ضروری است. تعیین نیروهای محیطی وارد بر سازه های دریایی به عنوان نخستین گام برای محاسبه میادین تنش و کرنش و به دنبال آن تخمین عمر سازه های دریایی محسوب می شود. در این رابطه مندز و همکاران [1] در راستای تعیین نیروهای محیطی وارده بر سازه های دریایی به مدل سازی عددی نیروی ناشی از موج و جریان دریایی بر روی سازه های فراساحلی پرداختند. آنها برای تعیین نیروی وارده بر سازه های فراساحلی ناشی از امواج و جریان دریایی از تئوری تفرق صرف نظر نموده و نیروی وارده را با استفاده از روابط موريسون [2] بدست آوردند. زنگ و همکاران [3] به بررسی تحلیلی نیروی وارده بر سازه مستطیلی شکل شناور در آب با عمق بی نهایت بر اساس تئوری تفرق پرداختند. آنها با در نظر گرفتن سیال بصورت غیر لزج و غیر قابل تراکم، یک تابع پتانسیل سرعت (که شامل دو بخش تابع پتانسیل موج رفت¹، تابع پتانسیل موج تفرق² می باشد) برای یک موج خطی منظم با دامنه کوچک تعریف نمودند. سپس با حل تحلیلی این تابع پتانسیل برای یک سازه مستطیلی شکل شناور در آب با عمق بی نهایت به تعیین نیروهای وارده ناشی از امواج پرداختند.

همچنین لیو و همکاران [4] در راستای توسعه تعیین نیروهای محیطی وارده بر سازه های دریایی در سال 2012 به بررسی تحلیلی پدیده تفرق موج در یک کره شناور در آب با عمق بی نهایت پرداختند. بعد از تعیین نیروهای محیطی وارد بر سکوها دریایی می توان به تعیین تنش و کرنش در کل سکو و تخمین عمر آن پرداخت. در این راستا یقطین و صیادی [5] به بررسی تحلیل تنش و اثرات ناشی از خستگی در اتصالات سکوی جک آپ در دریای خزر با استفاده از نرم افزار انسیس پرداختند. از آنجا که طبق آیین نامه DNV [6] سهم نیروی باد کمتر از 40 درصد نیروهای هیدرودینامیکی است و سهم عمده این نیرو بر سازه بالای سطح آب وارد می شود، آنها از اثرات نیروی باد صرف نظر نمودند و فقط نیروی امواج را در کار خود در نظر گرفتند. آنها پس از انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی در تمامی جهات تابش موج، راستای موج غالب و اتصال بحرانی سکو را مشخص نمودند. سپس با در نظر گرفتن قانون ترکیب تنش ارائه شده توسط آیین نامه API [7] تنش نقطه حاد و گره بحرانی را تعیین نمودند. در نهایت تحلیل خستگی برای این گره، با در نظر گرفتن دیاگرام S-N توصیه شده توسط آیین نامه API [7] را انجام داده و خسارت سالیانه را محاسبه کردند. سپس از روی خسارت سالیانه عمر تقریبی سکو را برابر 18 سال تخمین زدند. عمر این سکو در تحقیقی دیگر با استفاده از نرم افزار ساکس³ 20 سال تخمین زده شده بود.

نراقیان و میرزایی [8] به تحلیل تنش و تخمین عمر خستگی در اتصالات جوش نقطه ای پرداختند. تحقیق های فراوانی نیز برای بهبود عملکرد سکوی حفاری نیمه شناور امیرکبیر انجام شده است. در این راستا محسنی ارمک و قره باغی [9] به بررسی تأثیر صفحات هیو⁴ بر روی رفتار هیدرودینامیکی سکوی

1- Incident Wave
2- Diffraction Wave
3- Sacs
4- Heave

5- Hot Spot Stress
6- Pontoon

سیستم مهاربندی این سکو دارای 8 خط مهاری با 45 درجه اختلاف زاویه بین خطوط مهار به صورت متقارن می باشد. شکل 2 آرایش سیستم مهاربندی را در صفحه افق نشان می دهد. خطوط مهاربندی به کار رفته در سکو از سه بخش تشکیل شده است که شامل موارد زیر است:

1- بخش اول: زنجیر پین دار¹

2- بخش میانی: طناب سیمی²

3- بخش نهایی: زنجیر پین دار

خصوصیات هر بخش از خطوط مهاری که برای مدل سازی در نرم افزار انسیس/آکوا³ استفاده شده اند در جدول 1 ارائه شده است.

سکوی امیرکبیر برای شرایط محیطی دریای خزر طراحی شده است. با توجه به اینکه شرایط محیطی دریای خزر در بازه های زمانی متفاوت، متغیر است لذا در این مقاله بحرانی ترین شرایط گزارشی طی 100 سال اخیر ملاک عمل قرار گرفته و در جدول 2 درج شده است. در این مقاله مشخصات محیطی دریای خزر برای حالتی که بیشترین احتمال وقوع را دارد، یعنی راستای صفر درجه نسبت به شمال انتخاب می شود. در تحلیل های هیدرودینامیکی و تعیین نیروهای محیطی وارد بر سکو در بخش بعدی از مشخصات محیطی در این راستا استفاده خواهد شد. همچنین چگالی آب دریا خزر برابر با 1025 kg/m^3 انتخاب و از تأثیر خوردگی آن صرف نظر شده است.

3- تحلیل هیدرودینامیکی

در این بخش تحلیل هیدرودینامیکی و تعیین نیروهای محیطی وارد بر سکو شامل نیروی وارده از طرف امواج دریایی، جریان دریایی و باد که از جمله مهمترین نیروهای وارده به سکوها نیمه شناور می باشند، با شرایط محیطی دریای خزر ارائه می شود.

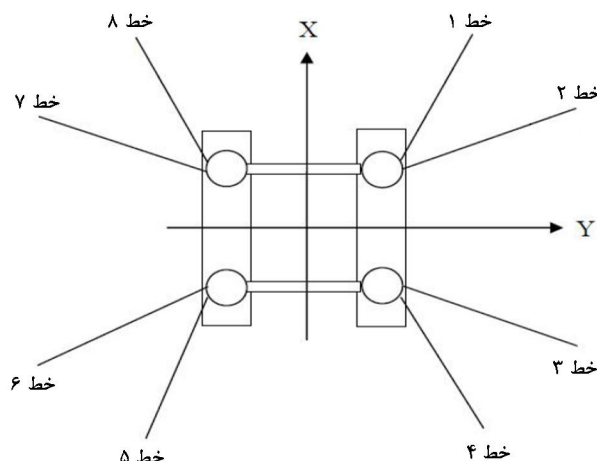
3-1- نیروی وارده بر سکو ناشی از امواج دریا

امواج بزرگترین نیروی دینامیکی را بر سازه های دریایی وارد می کنند. محاسبه نیروی موج وارد بر سازه های دریایی و همچنین تحلیل دینامیکی آنها از عوامل مهم در طراحی این سازه ها محسوب می شود. به دلیل این اهمیت، بعد از صحت سنجی تحلیل های هیدرودینامیکی که در مرجع [11] انجام شده است، نیروی ناشی از امواج منظم خطی دریای خزر در شش درجه آزادی برای 44 فرکانس و با 4 زاویه مختلف موج برخوردی محاسبه می گردند. این محاسبات بر اساس تئوری تفرق و روش المان مرزی و کاربرد نرم افزار انسیس/آکوا توسط مؤلفان [11] انجام شده است. شکل 3 نمایی از امواج برخوردی با سکو را نشان می دهد. نتایج تحلیل که شامل سه مؤلفه نیرو و سه مؤلفه گشتاور می باشد برای دوره تناوب 11/53 ثانیه در جدول 3 ارائه شده است.

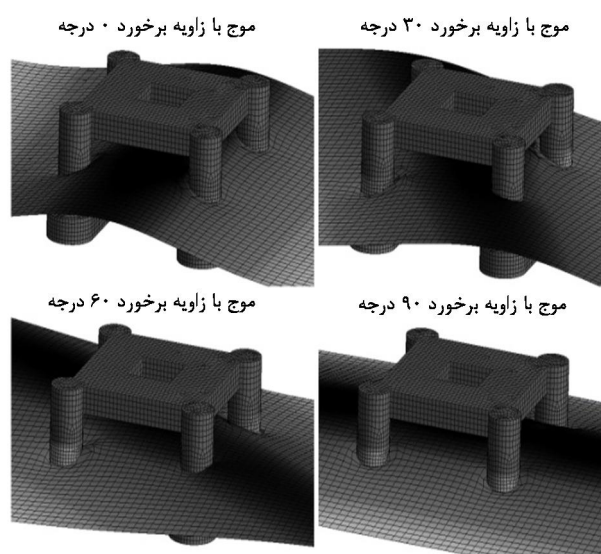
جدول 3 نیروها و گشتاورهای وارده بر سکوی حفاری نیمه شناور امیرکبیر در دوره تناوب موج 11/53 ثانیه [11]

زاویه برخورد موج (درجه)	$\frac{F_x}{A} (\text{MN/m})$	$\frac{F_y}{A} (\text{MN/m})$	$\frac{F_z}{A} (\text{MN/m})$	$\frac{M_x}{A} (\text{MN})$	$\frac{M_y}{A} (\text{MN})$	$\frac{M_z}{A} (\text{MN})$
0	5/78	0	9/73	0	93/7	0
30	5/02	3/97	8/99	146	79	2/79
60	2/84	6/47	7/59	235	24/5	9/76
90	0	7/16	6/94	261	0	0

1- Chain Stud
2- Wire Rope
3- Ansys/Aqwa



شکل 2 آرایش سیستم مهاربندی سکوی حفاری نیمه شناور امیرکبیر در صفحه افق [10]



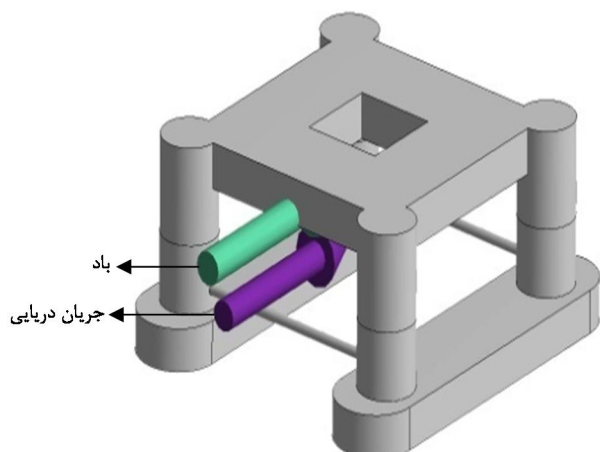
شکل 3 نمایی از امواج برخوردی با سکوی امیرکبیر در نرم افزار انسیس/آکوا [11]

جدول 1 خصوصیات مصالح سیستم مهاربندی سکوی حفاری نیمه شناور امیرکبیر [10]

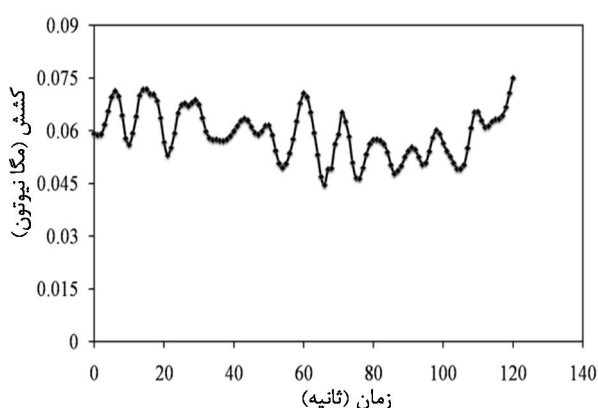
مؤلفه	نوع	طول (متر)	قطر (میلی متر)	مدول الاستیسیته (گیگا پاسکال)	وزن در آب (کیلو نیوتن بر متر)
بخش اول زنجیر پین دار	900	107	56	1/08	
بخش میانی طناب سیمی	1000	76	70	0/26	
بخش نهایی زنجیر پین دار	1100	107	56	1/08	

جدول 2 مشخصات محیطی دریای خزر برای دوره بازگشت 100 ساله [9]

راستاهای مختلف نسبت به شمال (درجه)	احتمال وقوع (درصد)	ارتفاع موج شاخص (متر)	دوره تناوب (ثانیه)	سرعت باد (متر بر ثانیه)	سرعت جریان (متر بر ثانیه)
0	24	10/50	11/53	38	1/26
45	14	10/20	10/45	35/4	1/17
90	13	9/30	10/17	33/9	1/13
135	7	8/10	8/83	29/4	0/98
180	7	7/35	8/24	26/8	0/89
225	8	8/25	8/95	29/9	1
270	10	8/85	9/85	32/3	1/07
315	18	10/05	11/06	36/3	1/20



شکل 4 نمایش از اعمال جریان دریایی و باد بر سکوی حفاری نیمه شناور امیرکبیر در نرم افزار انسیس/آکوا



شکل 5 نمودار کشش ایجاد شده در خط مهاربندی سکوی حفاری نیمه شناور امیرکبیر بر حسب زمان

جدول 4 نیروهای اعمالی به سکو ناشی از جریان دریایی و باد		
نیروی وارد به سکو	مقدار نیروی وارد ناشی از جریان دریایی (kN)	مقدار نیروی وارد ناشی از باد (kN)
در جهت x	1343/12	959/42
در جهت y	18/16	4/88
در جهت z	0	0

لذا برای تعیین نیروی بوجود آمده در یکی از خطوط مهاربندی ناشی از شرایط محیطی، امواج دریا، جریان دریایی و باد با مشخصات ذکر شده به مدت 120 ثانیه به مدل اعمال شده و مقادیر کشش ایجاد شده در لحظات مختلف ثبت و منحنی تغییرات آن نسبت به زمان مطابق شکل 5 رسم می شود.

4- تحلیل تنش و کرنش در سکو

در این قسمت سکوی حفاری نیمه شناور امیرکبیر را تحت بارگذاری توانمند امواج دریا، جریان دریایی و باد قرار داده و با توجه به نیروهای بدست آمده در قسمت قبل به تحلیل تنش و کرنش در کل سکو و شناسایی اجزای بحرانی پرداخته می شود. در این راستا مدل سکو از محیط انسیس/آکوا به محیط انسیس/مکانیکال¹ انتقال داده می شود. در این محیط می توان نیروهای هیدرودینامیکی بدست آمده در بخش قبل را به عنوان یک فایل ورودی در قسمت بارگذاری تعریف و سپس به بررسی تنش و کرنش در کل سکو پرداخت. سکو از جنس فولاد E36 با مدول الاستیسیته 210 گیگاپاسکال،

3-2- نیروی وارده بر سکو ناشی از جریان دریایی و باد

محاسبه نیروی جریان وارد بر سکوی دریایی در آب عمیق مشابه نیروی موج بر اجزاء سکوها دریایی است. در محاسبه این نیروها فرض می شود که اجزای استوانه ای شکل که نسبت قطر به طول کوچکی دارند، تغییری در میدان سرعت ایجاد نمی کنند. در این صورت نیروی جریان از رابطه موريسون (1) بدست می آید [12]:

$$F = \frac{1}{2} C_D \rho A U^2 \quad (1)$$

در رابطه (1)، ρ چگالی آب دریا، U سرعت جریان آب، A تصویر جسم مورد نظر در برابر جریان و C_D ضریب پسا است.

آیین نامه ها تعیین سرعت و توزیع جریان در عمق آب را به اندازه گیری محلی ارجاع می دهند. در صورت کمبود داده های اطلاعاتی می توان از رابطه (2) استفاده کرد [12].

$$U_T = U_{0t} \left(\frac{y}{d} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (2)$$

که در آن d عمق آب، y ارتفاع از بستر دریا و U_{0t} حداکثر سرعت جریان دریایی در سطح آب می باشد.

نیروهای اعمالی بر سازه های دریایی ناشی از باد، مجموع نیروهای وارده بر تک تک اجزاء (مخازن، وسایل، عرشه ها، پایه های سازه و غیره) در بالای سطح آب می باشد. این نیروها از رابطه تجربی (3) بدست می آیند [12]:

$$F = \frac{1}{2} C_s \rho A V^2 \quad (3)$$

ρ چگالی هوا، V سرعت باد، A تصویر سطح عضو مورد نظر در برابر باد و C_s ضریب شکل (که برای هر شکل با توجه به پیشنهاد آیین نامه API تعیین می گردد) می باشد.

در سکوها بلند تغییرات سرعت باد در ارتفاع را می توان از رابطه (4) حساب کرد [12]:

$$V_Y = V_H \left(\frac{Y}{H} \right)^{\frac{1}{6}} \quad (4)$$

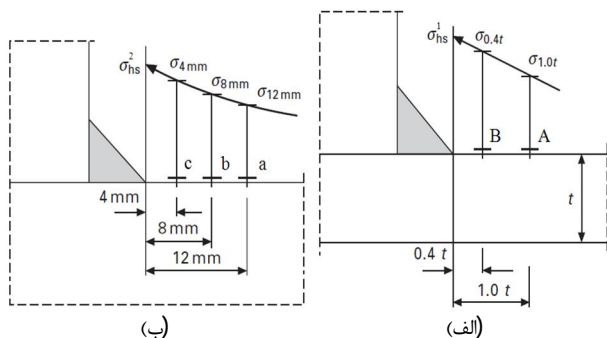
که V_Y سرعت باد در ارتفاع Y ، V_H سرعت باد در سطح مرجع (معمولاً در ارتفاع 10 متر بالاتر از سطح آب دریا)، Y ارتفاع دلخواه از سطح آب دریا و H ارتفاع مرجع (معمولاً برابر 10 متر) می باشد.

جهت تعیین نیروهای ناشی از جریان دریایی و باد از نرم افزار انسیس/آکوا استفاده می شود. برای تعریف جریان دریایی، مطابق با جدول 2 حداکثر سرعت جریان دریایی در سطح آب، $1/26$ متر بر ثانیه و تغییرات سرعت با عمق آب مانند رابطه (2) در نظر گرفته می شود. همچنین برای تعریف باد مطابق با جدول 2 سرعت باد در ارتفاع مرجع 10 متر بالای سطح آب، 38 متر بر ثانیه و تغییرات سرعت باد با ارتفاع همانند رابطه (4) منظور می شود. هر دو جهت جریان دریایی و باد در جهت x هستند. شکل 4 نمایش از اعمال جریان دریایی و باد بر سکوی امیرکبیر را در نرم افزار انسیس/آکوا نشان می دهد. مقادیر بدست آمده این نیروها در جدول 4 درج شده اند. بر اساس مقادیر درج شده در جدول های 3 و 4، امواج دریا بیشترین نیروی محیطی را به سکو وارد می کنند و جریان دریایی و باد به ترتیب در رتبه دوم و سوم قرار دارند.

3-3- تعیین نیرو در سیستم مهاربندی سکو

یکی از موارد مهم در تحلیل هیدرودینامیکی سکو، تعیین نیروی بوجود آمده در هر یک خطوط مهاربندی در اثر شرایط محیطی اعمال شده شامل امواج دریا، جریان دریایی و باد می باشد. کشش ایجاد شده در این خطوط می تواند در توزیع تنش و کرنش در کل سکو تأثیرگذار باشد. به علت تقارن موجود در سیستم مهاربندی سکوی امیرکبیر نیروی ایجاد شده در تمام خطوط مهاربندی یکسان است.

1- Ansys/mechanical



شکل 9 نحوه تعیین تنش نقطه حاد در اتصالات جوشی (الف) برون یابی خطی (ب) برون یابی درجه دوم [14]

5- تخمین عمر خستگی اتصال بحرانی به روش تنش نقطه حاد

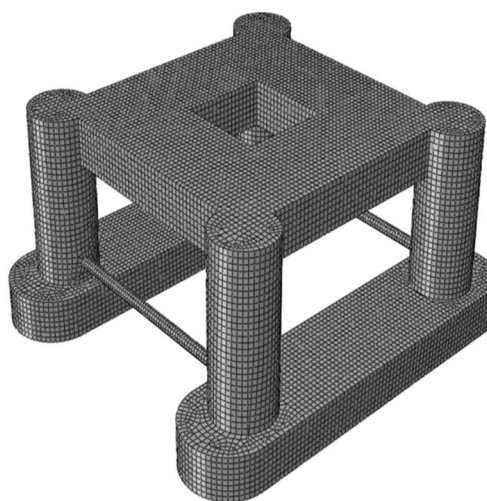
تحلیل خستگی یکی از مهمترین بخش های طراحی سکوهای فراساحلی است. این تحلیل با توجه به وجود نیروهای متناوب ناشی از امواج دریا، جریان دریایی، باد و غیره در محیط دریا از اهمیت ویژه ای در طراحی اولیه برخوردار است. یکی از متداول ترین راه ها برای محاسبه عمر خستگی سکوهای دریایی استفاده از روش تنش نقطه حاد است. یکی از مزایای استفاده از تنش نقطه حاد در طراحی خستگی آن است که می توان با استفاده از نمودارهای S-N پیشنهاد شده در آیین نامه های مختلف، عمر خستگی بسیاری از انواع اتصالات را بدست آورد. علاوه بر آن می توان با استفاده از تعدادی فرمول پارامتری ضریب تمرکز تنش را نیز بدست آورد. از معایب این روش می توان به لزوم تعریف مش دقیق و ریز در اطراف ناحیه جوش اشاره کرد [13]. روش های مختلفی برای محاسبه تنش نقطه حاد وجود دارد که اساس همه آنها برون یابی از توزیع تنش در مجاورت پای جوش است. دو روش متداول برای تعیین تنش نقطه حاد برون یابی خطی و درجه دوم است. در روش اول که به برون یابی خطی معروف است، طبق استاندارد API برای تعریف تنش نقطه حاد ابتدا باید مطابق با شکل 9- الف نمودار تغییرات تنش اصلی حداکثر از پای جوش را رسم کرد. سپس با تعریف دو نقطه A و B که به ترتیب به اندازه $1t$ و $0.4t$ از پای جوش فاصله دارند (t معرف ضخامت است) کافی است این دو نقطه را با یک خط راست به هم وصل کرده و این خط را امتداد داد، بطوریکه محل تقاطع خط مذکور با محور عمودی که بیانگر تنش است، تنش نقطه حاد نامیده می شود. در مواقعی که ضخامت اتصال به نحوی است که استفاده از روش اول مناسب نیست، روش دومی به نام برون یابی درجه دوم را می توان بکار برد. در این روش مطابق با شکل 9- ب ابتدا بدون توجه به ضخامت سه نقطه a، b و c که به ترتیب به اندازه 12، 8 و 4 میلی متر از پای جوش فاصله دارند تعریف می شوند. سپس با گذراندن یک منحنی درجه دوم از این سه نقطه می توان با تعیین محل تقاطع این منحنی با محور عمودی تنش نقطه حاد را تعیین کرد.

در این قسمت برای تعیین تنش نقطه حاد و عمر خستگی اتصال بحرانی شناسایی شده، ابتدا باید در یک دوره تناوب کامل موج، توزیع تنش اصلی بیشینه را در کل سکو بدست آورد. سپس برای حداقل و حداکثر مقدار تنش در یک دوره تناوب کامل موج تنش نقطه حاد را از روش های بیان شده بدست آورد.

شکل های 10 و 11 به ترتیب نمایی از حداکثر و حداقل توزیع تنش اصلی بیشینه ایجاد شده در سکوی امیرکبیر را برحسب پاسکال در یک دوره تناوب کامل موج نشان می دهند.

حال مطابق با شکل 9، توزیع تنش اصلی بیشینه در پای جوش اتصال بحرانی برای هر کدام از شکل های 10 و 11 رسم می شود.

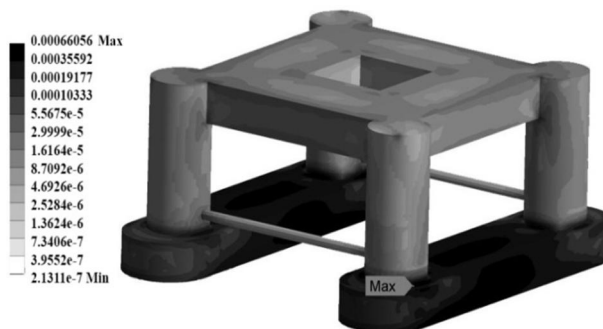
مقاومت تسلیم 355 مگاپاسکال و ضریب پواسون 0/3 در نظر گرفته می شود. همچنین کل سکو مطابق با شکل 6 با تعداد 22856 المان مربعی خطی مش بندی می شود. در اشکال 7 و 8 به ترتیب نمایی از توزیع تنش فون مایز (برحسب پاسکال) و کرنش معادل در کل سکو در اثر بارهای هیدرو دینامیکی نشان داده شده است. از روی این اشکال مشخص می شود که محل اتصال ستون به پانتون قسمت بحرانی سکوی حفاری نیمه شناور امیرکبیر است. برای جلوگیری از واماندگی این قسمت استفاده از تقویت کننده های حلقوی در محل اتصال ستون و پانتون و یا مقاوم سازی این بخش با استفاده از پوشش های کامپوزیتی ضروری است. همچنین از شکل 7 مشخص می شود که مقدار تنش فون مایز در پانتونی که در معرض برخورد مستقیم امواج قرار دارد نسبت به سایر قسمت های سکو بیشتر است. دلیل این امر گشتاوری که ستون ها در اثر برخورد امواج به پانتون وارد می کنند و همچنین افزایش فشار هیدرواستاتیکی با افزایش عمق آب بصورت خطی است.



شکل 6 نمایی از مدل اجزای محدود سکو حفاری نیمه شناور امیرکبیر



شکل 7 نمایی از توزیع تنش فون مایز در کل سکوی حفاری نیمه شناور امیرکبیر



شکل 8 نمایی از توزیع کرنش معادل در کل سکوی حفاری نیمه شناور امیرکبیر

با توجه به ضخامت 16 میلی متری پانتون، نقاط A و B به ترتیب 16 و 6/4 میلی متر و نقاط a، b و c بدون توجه به ضخامت پانتون به ترتیب 12، 8 و 4 میلی متر از پای جوش فاصله دارند. شکل 12 نمایی از منحنی تغییرات تنش در پای جوش اتصال بحرانی و تعیین تنش نقطه حاد را برای حداکثر تنش ایجاد شده در یک دوره تناوب موج نشان می دهد. همان طور که در این شکل دیده می شود، با افزایش فاصله از پای جوش مقدار تنش ایجاد شده کاهش پیدا می کند. با تعریف نقاط A و B برای برون یابی خطی و نقاط a، b و c برای برون یابی درجه دوم بر روی شکل 12 و با استفاده از روش بیان شده تنش نقطه حاد با استفاده از برون یابی خطی و درجه دوم به ترتیب برابر با 155/92 و 157/11 مگاپاسکال تعیین می شود. شکل 13 همانند شکل 12 ولی برای حداقل تنش ایجاد شده در یک دوره تناوب موج می باشد. با روندی مشابه قبل در این حالت تنش نقطه حاد با استفاده از برون یابی خطی و درجه دوم به ترتیب برابر با 82/16 و 83/99 مگاپاسکال تعیین می شود.

بنابراین می توان رابطه (5) را نوشت:

$$\Delta\sigma_h^1 = \sigma_{h,max}^1 - \sigma_{h,min}^1 = 155.92 - 82.16 = 73.76 \text{ MPa} \quad (5)$$

در رابطه فوق بالانویس 1 بیانگر استفاده از روش اول تعیین تنش نقطه حاد یا همان برون یابی خطی است. برای برون یابی درجه دوم می توان رابطه (6) را نوشت:

$$\Delta\sigma_h^2 = \sigma_{h,max}^2 - \sigma_{h,min}^2 = 157.11 - 83.99 = 73.12 \text{ MPa} \quad (6)$$

بالانویس 2 در رابطه فوق بیانگر استفاده از روش دوم در تعیین تنش نقطه حاد یا همان برون یابی درجه دوم است. حال با توجه به بازه تنش نقطه حاد و با استفاده از نمودارهای S-N پیشنهاد شده در آیین نامه های مختلف، می توان عمر خستگی اتصال را تعیین کرد. برای اتصالات لوله ای آیین نامه API-RP-2A دو منحنی X' و X ارائه نموده است. این دو منحنی کاربردهای متفاوتی دارند. منحنی X' در بعضی شرایط عمر خستگی کمتری را نسبت به منحنی X ارائه می دهد. زمانی که از X' استفاده می شود، نیازی به کنترل پروفیل جوش نیست، اما اگر از منحنی X استفاده شود، بایستی پروفیل جوش کنترل گردد که کاری پرهزینه است. در این مقاله از نمودارهای آیین نامه API-RP-2A در حالت بدون کنترل جوش (نمودار X') استفاده می شود. رابطه بین S و N در منحنی های ارائه شده توسط API بصورت رابطه (7) است [7]:

$$N = 2 \times 10^6 \left[\frac{\Delta\sigma_h}{\Delta\sigma_{ref}} \right]^{-m} \quad (7)$$

که N عمر اتصال، $\Delta\sigma_h$ بازه تنش نقطه حاد، $\Delta\sigma_{ref}$ و m نیز ثوابتی هستند که در جدول 5 درج شده اند.

برای محاسبه عمر خستگی اتصال بحرانی سکوی امیرکبیر به روش تنش نقطه حاد کافی است که روابط (5) و (6) در رابطه (7) جایگذاری شوند. با جایگذاری ثوابت از جدول 5 مربوط به نمودار X' روابط (8) و (9) بدست می آیند:

$$N^1 = 2 \times 10^6 \left[\frac{73.76}{79} \right]^{-3.74} = 2.58 \times 10^6 \text{ Cycle} \quad (8)$$

و

$$N^2 = 2 \times 10^6 \left[\frac{73.12}{79} \right]^{-3.74} = 2.67 \times 10^6 \text{ Cycle} \quad (9)$$

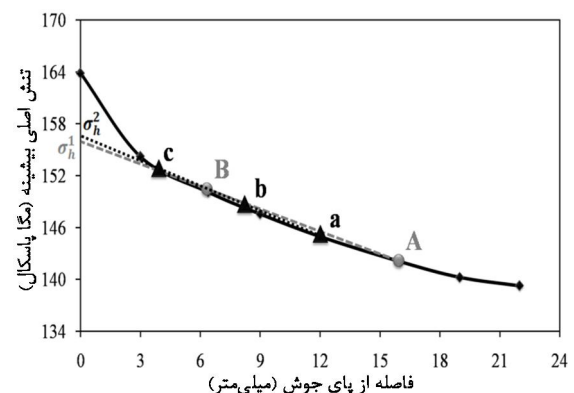
بنابراین عمر خستگی اتصال ستون به پانتون که به عنوان اتصال بحرانی در کل سکوی حفاری نیمه شناور امیرکبیر شناخته شده است با استفاده از برون یابی خطی برابر با 2/58 میلیون سیکل و با استفاده از برون یابی درجه دوم برابر با 2/67 میلیون سیکل تخمین زده می شود. اختلاف سه درصدی میان عمرهای محاسبه شده با استفاده از برون یابی خطی و درجه دوم نیز تطابق خوب میان این دو روش برای محاسبه تنش نقطه حاد را نشان می دهد.



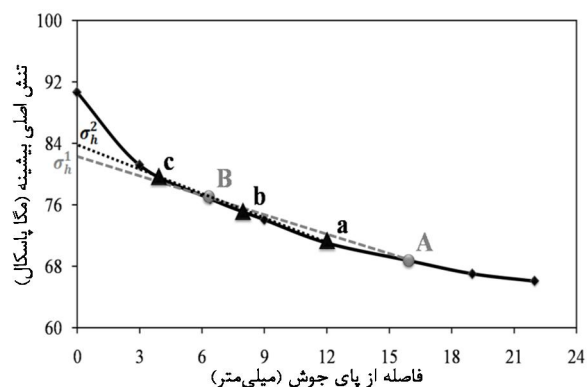
شکل 10 نمایی از حداکثر توزیع تنش اصلی بیشینه ایجاد شده در سکوی امیرکبیر در یک دوره تناوب موج



شکل 11 نمایی از حداقل توزیع تنش اصلی بیشینه ایجاد شده در سکو امیرکبیر در یک دوره تناوب موج



شکل 12 نمایی از منحنی تغییرات تنش در پای جوش اتصال بحرانی و تعیین تنش نقطه حاد برای حداکثر تنش ایجاد شده در یک دوره تناوب موج



شکل 13 نمایی از منحنی تغییرات تنش در پای جوش اتصال بحرانی و تعیین تنش نقطه حاد برای حداقل تنش ایجاد شده در یک دوره تناوب موج

7- مراجع

- [1] A. Mendes, J. Kolodziej, H. Correia, Numerical modelling of wave-current loading on offshore jacket structures, *Advances In Fluid Mechanics*, Vol. 36, pp. 85-96, 2003.
- [2] S. K. Chakrabarti, *Hydrodynamics of offshore structures: Mathematical theory and its applications in structures*, WIT press, 1987.
- [3] Y. Zheng, Y. Shen, Y. You, B. Wu, D. Jie, On the radiation and diffraction of water waves by a rectangular structure with a sidewall, *Ocean Engineering*, Vol. 31, No. 17, pp. 2087-2104, 2004.
- [4] Y.-y. Liu, B. Teng, P.-w. Cong, C.-f. Liu, Y. Gou, Analytical study of wave diffraction and radiation by a submerged sphere in infinite water depth, *Ocean Engineering*, Vol. 51, pp. 129-141, 2012.
- [5] A. Yaghtin, H. Sayadi, Studying of fatigue effects in jack up tubular joints in caspian sea, *International Journal of Maritime Technology*, Vol. 4, No. 7, pp. 15-26, 2008. (In Persian)
- [6] D. N. Veritas, *Rules for the design construction and inspection of offshore structures, 1977: reprint with corrections (1981). Appendix C: Steel structures: Reprint with corrections (1982), Appendix I: In service inspection: Reprint with corrections (1980)*: Det Norske Veritas, 1982.
- [7] API-RP-2A, *Recommended practice for planning, design, construction and inspection of offshore structures-working stress design*, 1993.
- [8] A. Naraghy, M. Mirzaei, Stress analysis and fatigue life estimation of spot-welded joints, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 8, No.1, pp. 33-46, 2008. (In Persian)
- [9] S. Mohseni Armak, A. Gharebaghi, Effect of heave plates on the dynamic response of amirkabir semi-submersible platform, in *Proceeding of International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures*, Tehran, 2012.
- [10] A. Ghayor, *Fatigue behavior of iran alborz platform and their mooring*, MSc Thesis, Sahand University of Technology, Tabriz, 2010. (In Persian)
- [11] R. Ghajar, S. Ghoreishi, Numerical analysis of hydrodynamic interaction between the linear waves of caspian sea and amirkabir semi-submersible drilling platform, *Engineering Solid Mechanics*, Vol. 1, No. 4, pp. 141-148, 2013.
- [12] N. Nouri Samie, *Port design-guideline and recommendations*, pp. 118-154, Tehran: Jahad Daneshgahi Publication, 2009. (In Persian)
- [13] F. Zamiri Akhlaghi, Fatigue life assessment of welded bridge details using structural hot spot stress method, MSc Thesis, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, 2009.
- [14] K. Macdonald, *Fracture and fatigue of welded joints and structures*, Second Edition, pp. 113-138, Elsevier, 2011.
- [15] D. N. Veritas, *Fatigue design of offshore steel structures*, DNV Recommended Practice DNV-RP-C203, 2010.

جدول 5 ثوابت تعیین عمر خستگی اتصالات لوله‌ای طبق آیین نامه API [14]

$\Delta\sigma_{ref}$ (MPa)	m	نمودار
100	4/38	X
79	3/74	X'

طبق دستورالعمل‌های بازرسی استاندارد سازه‌های دریایی، حداقل هر سه سال یکبار در حین بهره‌برداری باید کل سازه بازرسی شود [15]. در بازرسی علاوه بر ارزیابی وضعیت سازه در صورت نیاز باید اعضای بحرانی به نحوی تعمیر یا تعویض شوند. معمولاً در بازرسی مناطقی مانند اتصالات جوشکاری شده، مناطق انتقال بارهای اصلی و مناطقی که قبلاً تعمیر شده‌اند بیشتر مورد بررسی قرار می‌گیرند. لذا می‌توان با تقویت‌سازی و تعویض اتصال بحرانی شناسایی شده قبل از اتمام عمر خود در بازرسی‌های دوره‌ای از خرابی و واماندگی سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر که به عنوان یکی از سرمایه‌های ملی ایران محسوب می‌شود جلوگیری کرد.

6- نتیجه‌گیری

نخستین گام در تحلیل تنش و کرنش سکوه‌های دریایی و به دنبال آن محاسبه عمر خستگی اتصال بحرانی به روش تنش نقطه حاد، تعیین نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر سکو است. در این راستا نخست نیروهای هیدرودینامیکی وارده بر سکوی حفاری نیمه‌شناور امیرکبیر ناشی از امواج دریا، جریان دریایی و باد محاسبه شد. تحلیل‌های هیدرودینامیکی نشان دادند که امواج دریا بیشترین نیروی محیطی را به سکو وارد می‌کنند و جریان دریایی و باد به ترتیب در رتبه دوم و سوم قرار دارند. سپس با استفاده از این نیروها میدان‌های تنش و کرنش در کل سکو تعیین شدند. از روی این میدان‌ها اتصال ستون با پانتون به عنوان اتصال بحرانی در کل سکو مشخص و عمر خستگی آن با استفاده از روش تنش نقطه حاد با استفاده از برون‌یابی خطی و درجه دوم تعیین شد. اختلاف اندک میان عمرهای محاسبه شده با استفاده از برون‌یابی خطی و درجه دوم بیانگر تطابق خوب میان این دو روش برای محاسبه تنش نقطه حاد است.