مهار سکوی نیمه شناور امیرکبیر در آب‌های عمیق دریای خزر؛ چالش‌ها، طراحی و اجرا

سعید رحمانلو، علی کریمی، شرکت نفت خزر

سکوی امیرکبیر تنها سکوی نیمه‌شناور ایران است که به‌منظور انجام عملیات حفاری اکتشافی و توسعه‌ای در دریای خزر ساخته شده است. به‌دلیل شناور بودن این دستگاه، مهار آن در محل حفاری اهمیت ویژه‌ای دارد. در این گزارش ضمن معرفی مشخصات سکوی نیمه‌شناور امیرکبیر و نحوه‌ی لنگراندازی آن، نیروهای محیطی مؤثر بر پایداری سکو بررسی و نحوه‌ی تعیین اثر آنها مشخص خواهد شد. در نهایت نیز نحوه‌ی طراحی و ارائه‌ی برنامه‌ی مهار سکو تشریح می‌شود تا بخشی از تفاوت‌های عملیات حفاری در آب‌های عمیق با حفاری در خشکی یا آب‌های کم‌عمق مشخص گردد.

بیشترین کاربرد سکوهای نیمه‌شناور در حفاری و بهره برداری از میادین نفت و گاز در آب‌های نیمه‌عمیق تا عمیق است. نخستین سکوی نیمه‌شناور در 1961 میلادی ابداع گردید و تا کنون شش نسل از آنها ساخته شده است. در مقایسه با سایر سازه‌های شناور، سکوهای نیمه‌شناور به‌دلیل سطح تماس کمترشان با آب، در برابر نیروهای وارده حساسیت بیشتری دارند و به‌همین علت مهار آنها نیز پیچیده‌تر است. مهم‌ترین نیروهای مؤثر بر پایداری سازه‌های شناور نیروهای ناشی از جریان زیرسطحی آب‌های دریایی و اقیانوسی، جریان باد و موج آب هستند. بنابراین مهار سکوهای نیمه‌شناور را می‌توان فرآیندی عنوان کرد که با پیش‌بینی نیروهای مؤثر بر سکو آغاز گردیده، با تعیین اثر این نیروها بر پایداری سکو برنامه‌ریزی و طراحی شده و در نهایت با اجرای طرح ارائه شده خاتمه می‌یابد.

1-سکوی نیمه‌شناور امیرکبیر

وزرات نفت جمهوری اسلامی ایران در راستای خودکفایی هرچه بیشتر و به‌منظور بهره‌برداری از ذخایر نفت و گاز کشور، در سال 1380 ساخت یک دستگاه سکوی حفاری نیمه‌شناور به‌نام امیرکبیر را در دستور کار قرار داد که این سکو در سال 1388 عملیات حفاری نخستین چاه حوضه‌ی خزر جنوبی را آغاز کرد. سکوی نیمه‌شناور امیرکبیر که توسط شرکت GVA طراحی و توسط شرکت صدرا ساخته شد نسل چهارم سکوهای نیمه‌شناور است که مهم‌ترین مشخصات آن در جدول-1 ارائه شده است.

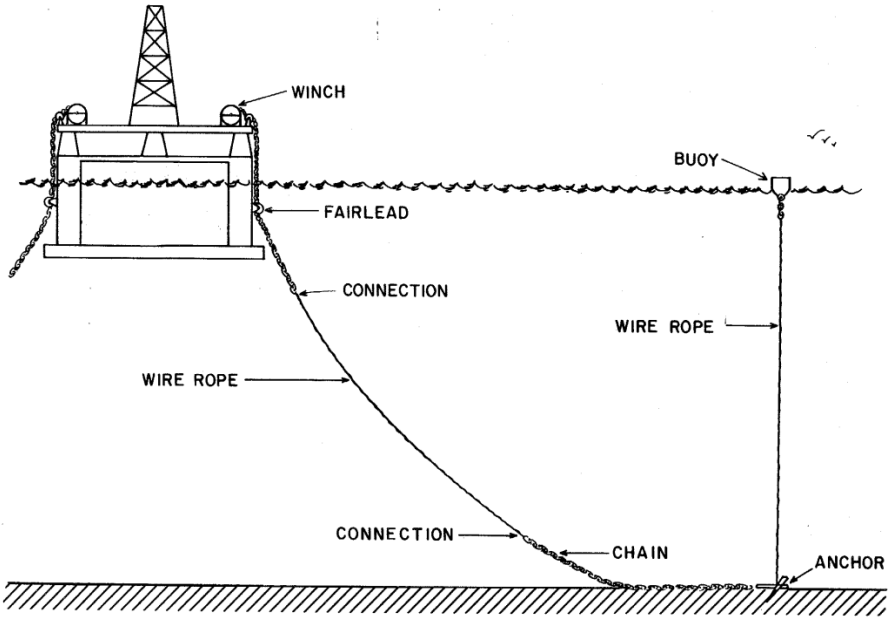
جدول 1: مشخصات سکوی نیمه‌شناور امیرکبیر

Amir Kabir Semi-Submersible Drilling Unit	
Weight (T)	14922
Overall Length (m)	98.6
Overall Width (m)	78.8
Number of Columns	4
Columns Height (m)	28.5
Columns Diameter (m)	12.9
Number of Pontoons	2
Pontoons Length (m)	80.56
Pontoons Width (m)	18.68
Pontoons Height (m)	7.5
Mast Height (m)	50
Main Power (Kw)	11200
Drawworks Power (hp)	3000
BOP Working Pressure (psi)	15000
Max Draft (m)	19.5
Max Water Depth (m)	1000
Max Drilling Depth From RT (m)	7620

2- مهار سکو

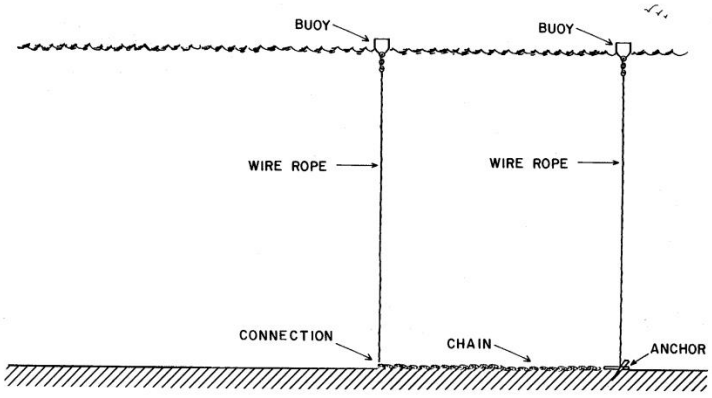
2-1- عملیات لنگراندازی

عملیات لنگراندازی سکوی نیمه‌شناور امیرکبیر توسط دو فروند شناور انجام می‌شود. شکل-1 نمای کلی وضعیت سکو و یکی از لنگرها را نشان می‌دهد. عملیات لنگراندازی سکوی امیرکبیر شامل دو عملیات پیش‌لنگراندازی و لنگراندازی نهایی است. عملیات پیش‌لنگراندازی امکان قرار دادن سکو در محل چاه را فراهم می‌کند و در نهایت با عملیات لنگراندازی نهایی، سکو در محل مورد نظر مهار می‌گردد.



شکل 1: نمای کلی نحوه‌ی مهار سکوی نیمه‌شناور امیرکبیر

در عملیلت پیش‌لنگراندازی، چهار تا از هشت لنگر سکوی نیمه‌شناور طوری به موقعیت‌های از قبل تعیین‌شده در چهار طرف سکو انداخته می‌شوند که محل هر لنگر توسط بویه (Buoy) قابل‌تشخیص بوده و انتهای زنجیر نیز توسط کابل اتصال (Wire Rope or Insert Wire) و بویه‌ی متصل به آن در سطحی قابل‌دسترس باشد. شکل-2 وضعیت نهایی هر لنگر را در مرحله‌ی پیش‌لنگراندازی نشان می‌دهد. انداختن لنگر در ته دریا نیز توسط دو شناور انجام می‌شود تا هم موقعیت و هم کشیدگی لنگر و زنجیر آن قابل‌تنظیم باشد.



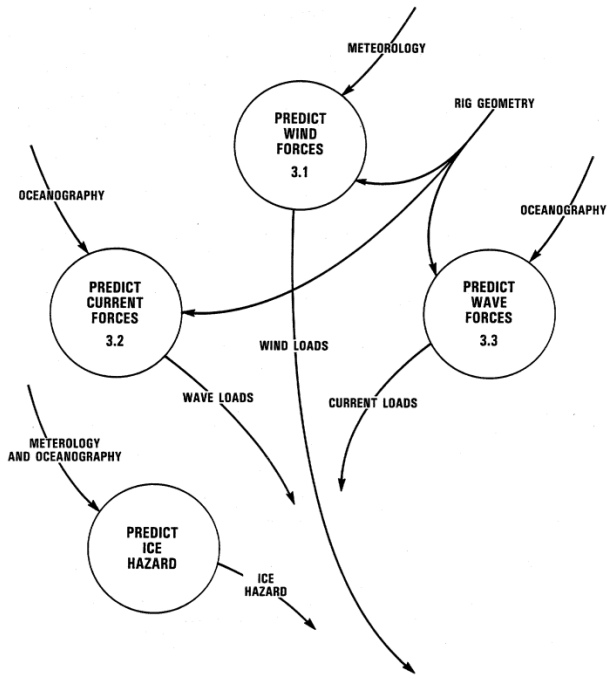
شکل 2: وضعیت لنگرها در مرحله‌ی پیش‌لنگراندازی

در عملیات لنگراندازی نهایی پس از اینکه سکو توسط دو شناور به محل مورد نظر انتقال داده شد، شناور-1 کابل متصل به انتهای زنجیر لنگر را گرفته و شناور-2 نیز به زنجیر سکو که همسو با لنگر است متصل می‌گردد. سپس شناور-2 زنجیر سکو را به کابل اتصال لنگر رسانده و به آن متصل می‌کند. این به‌معنی کامل شدن مجموعه‌ی لنگر است (شکل-1). این عمل برای سه لنگر دیگر

نیز انجام می‌شود تا از قرارگیری سکو در محل چاه اطمینان حاصل گردد. سپس چهار لنگر باقیمانده به‌ترتیب در محل خود به‌درون آب انداخته شده و بلافاصله به سکو متصل می‌شوند. پس از اینکه همه‌ی لنگرها به سکو وصل شد با تنظیم مقدار کشش لنگر توسط Winch نشان داده شده در شکل-1 عملیات مهار به پایان می‌رسد.

2-2- طراحی مهاربندی سکوی امیرکبیر

همان‌طور که گفته شد مهار سکوی امیرکبیر بدون تعیین نیروهای محیطی وارد بر آن امکان‌پذیر نیست. شکل-3 نحوه‌ی تعیین نیروهای محیطی مؤثر بر سکو را نشان می‌دهد.



شکل3: نحوه‌ی تعیین نیروهای محیطی موثر بر سکوی نیمه‌شناور امیرکبیر

جهت پیش‌بینی هر یک از نیروهای باد، جریان آب و موج ابتدا باید بررسی آماری وضعیت آب و هوای دریای خزر در محل حفاری انجام شود. جدول-2 بخشی از اطلاعات دریای خزر را نشان می‌دهد که جهت طراحی مهاربندی سکوی امیرکبیر در موقعیت‌های قبلی استفاده شده‌اند.

جدول 2: بخشی از اطلاعات آب و هوای دریای خزر جهت استفاده در مهار سکوی امیرکبیر

Date	15-09-1989	15-09-1989
Time	17:53	14:53
Air Temperature (C)	24.4	23.8
Air Pressure (mBar)	1020.4	1019.4
Sea Temperature (C)	28.1	28.1
Wind Speed (Knots)	5.3	10
Wind Gust (Knots)	10	13
Wind Direction (deg)	345	352
Heave Mean (m)	0.8	0.9
Heave Significant (m)	1.2	1.3
Heave Max (m)	1.9	2.1
Period Significant (sec)	6.5	6.5
Period Mean (sec)	5.5	6
Sea Current Angle (deg)	127	110
Sea Current Speed (m/sec)	0.15	0.15

پس از بررسی آماری این اطلاعات، نیروهای محیطی وارد بر سکو تخمین زده می‌شوند. نیروهای ناشی از جریان هوا و آب توسط رابطه‌ی-1 قابل‌محاسبه‌اند [5].

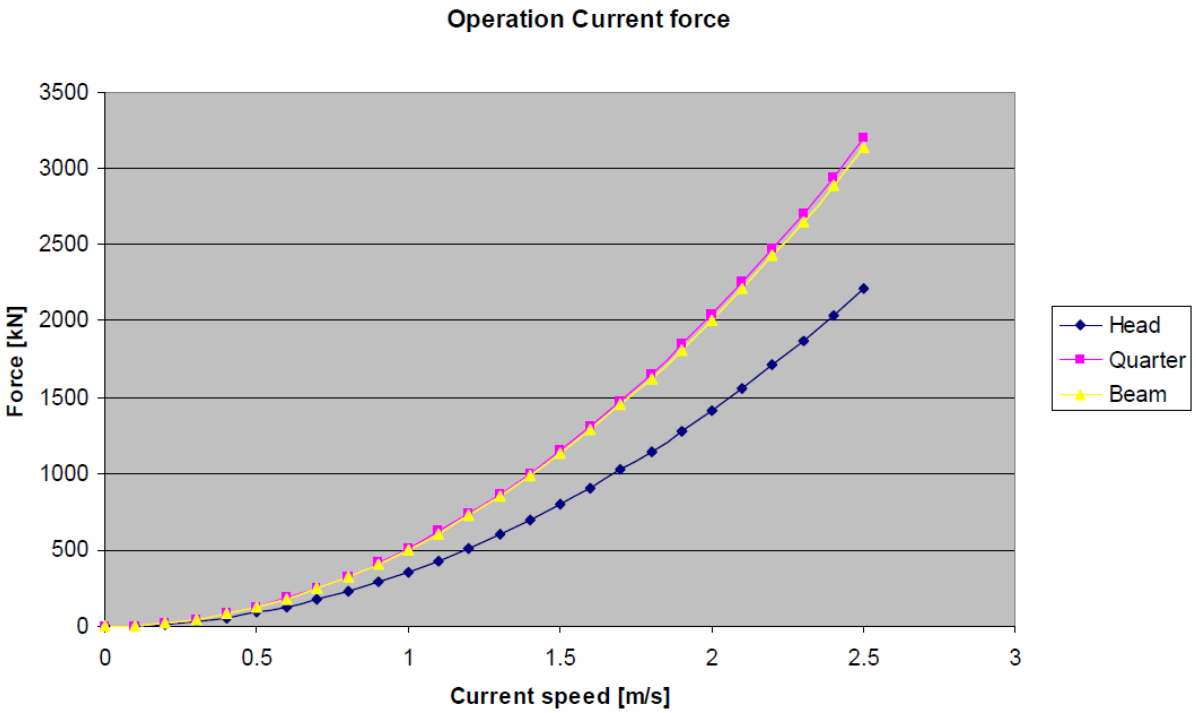
$$F = \frac{1}{2} D_f A \rho v^2 \qquad (1)$$

که F نیروی ناشی از برخورد جریان سیال (آب یا هوا) به بخش مورد نظر از بدنه‌ی سکو، D_f ضریب اصطکاک متناظر با بخش مورد نظر، A سطح تأثیرگذار، ρ چگالی سیال و v سرعت سیال است. سطح تأثیرگذار و ضریب D_f نیز طبق جدول-3 تعیین می‌شوند.

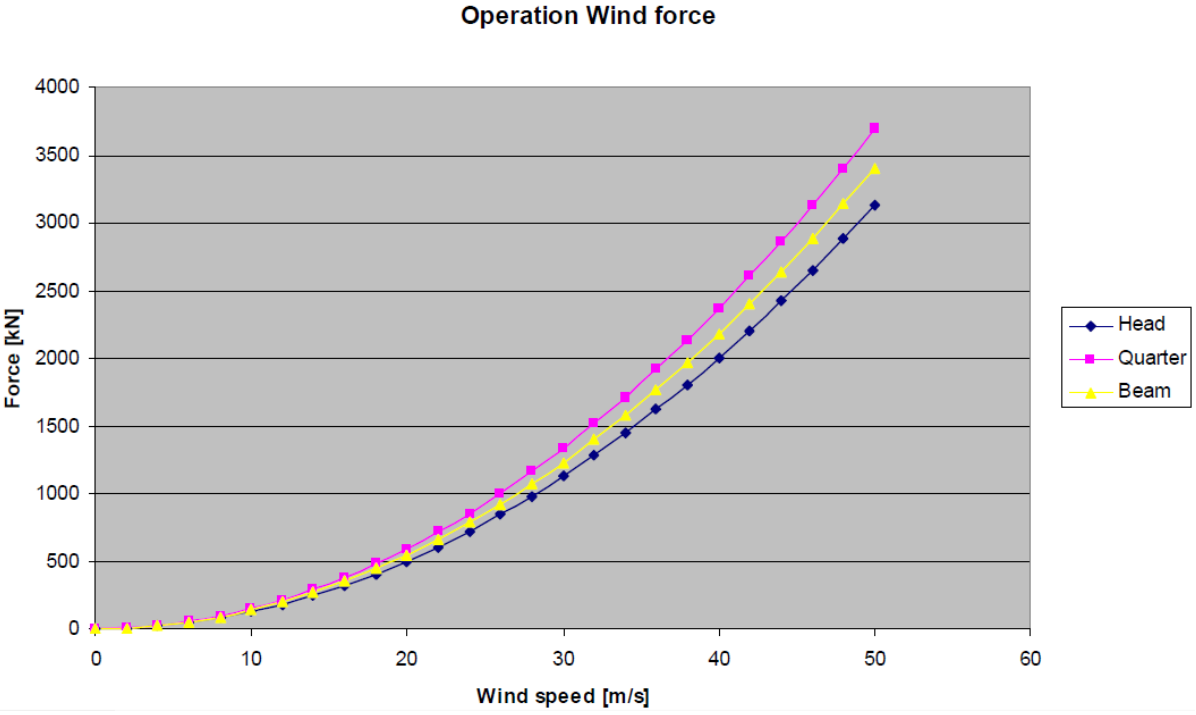
جدول 3: ضرایب مورد استفاده جهت محاسبه‌ی نیروهای جریانی وارد بر سکو

Shape	Drag Coefficient (D_f)	Refrance Area for " A"
Cylinder	0.85	Projected
Hull (Beam)	0.11	Wetted Surface
Hull (Bow-On)	0.0056	Wetted Surface
Riser	1	Projected
Wire Rope	1.4	Projected
Chain	2.5	Projected
Other	2	Projected

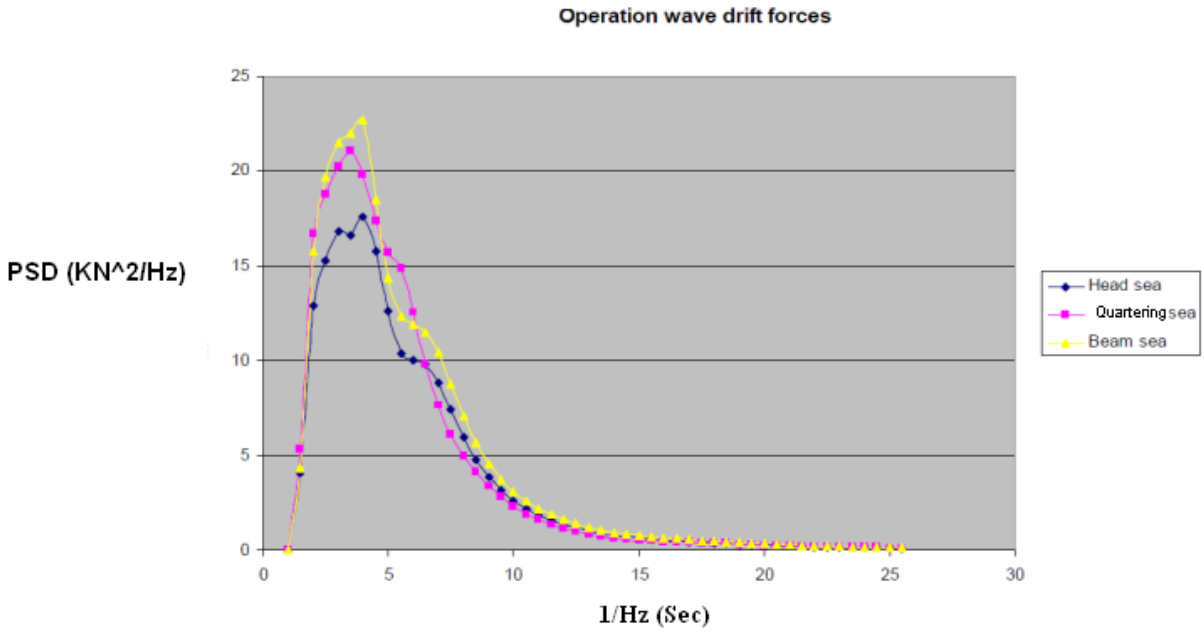
نیروهای ناشی از امواج نیز توسط رابطه‌ی موریسون (Morison Equation) محاسبه می‌شوند. بر اساس روش توضیح داده شده و مشخصات سکوی نیمه‌شناور امیرکبیر، نیروهای ناشی از جریان آب، باد و موج برای شرایط مختلف طبق شکل‌های-5و4و3 خواهند بود. این بدان معنی است که با استفاده از اطلاعات آماری آب و هوای محل مورد نظر و نتایج ارائه شده در شکل‌های-6و5و4 می‌توان نیروهای محیطی وارد بر سکو را تخمین زد.



شکل 4: نیروی وارد ناشی از جریان آب بر سکوی نیمه‌شناور امیرکبیر (Head: قرارگیری سکو در راستای جریان، Quarter: قرارگیری سکو در راستای مایل بر جریان، Beam: قرارگیری سکو در راستای عمود بر جریان)



شکل 5: نیروی وارد ناشی از جریان باد بر سکوی نیمه‌شناور امیرکبیر (Head: قرارگیری سکو در راستای جریان، Quarter: قرارگیری سکو در راستای مایل بر جریان، Beam: قرارگیری سکو در راستای عمود بر جریان)



شکل 6: نیروی وارد ناشی از موج بر سکوی نیمه‌شناور امیرکبیر (Head: قرارگیری سکو در راستای جریان، Quarter: قرارگیری سکو در راستای مایل بر جریان، Beam: قرارگیری سکو در راستای عمود بر جریان)

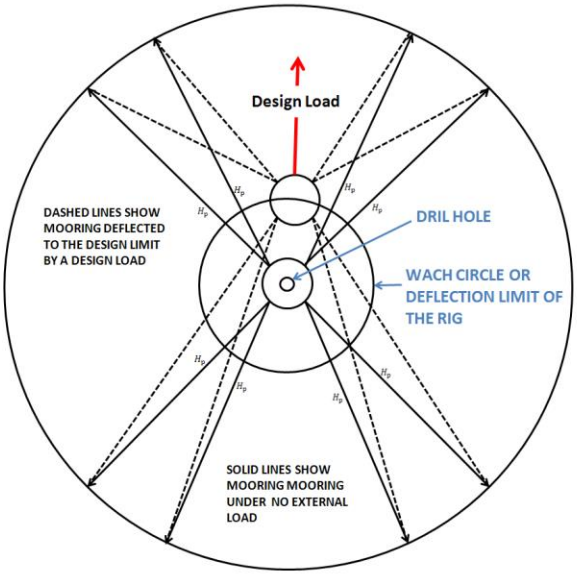
در نهایت مجموع نیروهای وارد بر سکو به‌صورت یک بار معادل (Design Load) جمع‌بندی می‌شوند و برنامه‌ریزی و طراحی نحوه‌ی مهار سکو بر اساس همین بار معادل انجام می‌گردد. شایان ذکر است که برنامه‌ی مهار در اصل، تعیین موقعیت لنگرها و کشش آنهاست و مهاربندی به‌گونه‌ای طراحی می‌شود که پس از لنگراندازی در محل مناسب، با اعمال کشش مناسب در لنگرها، مقدار انحراف سکو از موقعیت چاه در محدوده‌ی عملیاتی قابل‌اجرا (Watch Circle) باقی بماند. طبیعی است که برنامه‌ی مهار بستگی مستقیم به خصوصیات لنگر (مجموعه‌ی زنجیر و کابل مهار) خواهد داشت. جدول-4 خصوصیات سیستم لنگر سکوی نیمه‌شناور امیرکبیر را نشان می‌دهد.

جدول 4: مشخصات سیستم لنگر سکوی نیمه‌شناور امیرکبیر

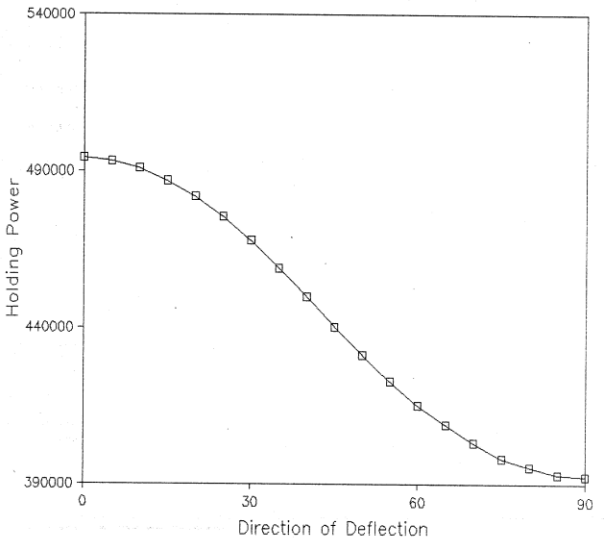
Amir Kabir Semi Submersible Drilling Unit Mooring Line and Anchor

Winche Holding Capacity (Ton)	550
Anchore Chain Length (m)	1100+900
Anchore Chain Diameter (mm)	76
Anchor Chain Breaking Load (Ton)	550
Inser Wire Length (m)	1000
Inser Wire Diameter	83
Insert Wire Braking Load (Ton)	550
Anchor Weight (Ton)	20

در شکل-7 نحوه‌ی تأثیر نیروهای محیطی و کشش لنگرها بر مقدار انحراف سکو از محل حفاری نشان داده شده است. طبیعی است که با تغییر کشش لنگر (H_p) موقعیت سکو نیز تغییر خواهد کرد. نمای کلی این موضوع در شکل-8 نشان داده شده است. لازم به‌ذکر است که بر اساس طرح فعلی سیستم مهار، بهترین زاویه‌ی هر خط لنگر سکوی نیمه‌شناور امیرکبیر نسبت با لنگر مجاور، **45 درجه** تعیین شده است.



شکل 7: نحوه‌ی تأثیر نیروهای محیطی و کشش لنگرها بر مقدارانحراف سکوی نیمه‌شناور امیرکبیر از محل حفاری



شکل 8: شمای کلی نحوه‌ی تنظیم محل سکو از طریق تغییر نیروی کشش لنگرها H_p

3- جمع‌بندی

حفاری در آب‌های عمیق مقوله‌ای است که با توجه به شرایط ویژه‌ی محیط حفاری، تفاوت چشمگیری با حفاری در خشکی و حتی آب‌های کم‌عمق دارد که معلق بودن دستگاه حفاری در آب دریا مهم‌ترین عامل این تفاوت است. مهار سکوی حفاری در آب‌های عمیق موضوعی است که به‌دلیل شناور بودن سکو پیچیدگی خاصی دارد. به‌همین دلیل مهار سکوی نیمه‌شناور امیرکبیر ملزوماتی به‌شرح زیر دارد:

- وجود سخت‌افزار و نرم‌افزار مناسب به‌منظور جمع‌آوری و بررسی آماری شرایط آب و هوایی منطقه‌ی مورد نظر جهت حفاری
- تعیین نیروهای محیطی ناشی از جریان باد، آب و موج
- برنامه‌ریزی و طراحی محل و کشش لنگرها
- وجود ادوات سخت‌افزاری مناسب به‌منظور اجرای برنامه‌ی مهار

ویژگی‌های فیزیکی سکوی نیمه‌شناور امیرکبیر به‌گونه‌ای است که بهترین راستای قرارگیری سکو همان راستای جریان باد در منطقه است. همچنین با توجه به شرایط محیطی دریای خزر، وجود حداقل دو فروند شناور با قدرت مناسب جهت اجرای عملیات پیش‌لنگراندازی و لنگراندازی نهایی الزامی است.