

ارائه روشی برای اولویت‌بندی انتخاب سکوها در آب‌های عمیق دریای خزر با استفاده از رویکرد فرایند تحلیل سلسله مراتبی

محمدسعید سیف^۱، محمدرضا تابش پور^۲، سحر بابایی^۳، اکبر محمدی^۴، علی احمدی^۵

^۱استاد، قطب علمی هیدرودینامیک و دینامیک متحرک‌های دریایی، دانشگاه صنعتی شریف؛ seif@sharif.edu
^۲استادیار، قطب علمی هیدرودینامیک و دینامیک متحرک‌های دریایی، دانشگاه صنعتی شریف؛ tabeshpour@sharif.edu
^۳دانشجوی کارشناسی ارشد، مرکز پژوهشی مهندسی دریا؛ sahar-ie@aut.ac.ir
^۴دانشجوی کارشناسی ارشد، مرکز پژوهشی مهندسی دریا؛ imohammadi@aut.ac.ir
^۵کارشناس ارشد، مرکز پژوهشی مهندسی دریا؛ ali_ahmadi@alum.sharif.ir

چکیده

آنچه در این مقاله ارائه شده، نمی‌تواند به عنوان سندی برای انتخاب نهایی نوع سازه باشد؛ بلکه فقط روش رویه‌مند این کار را ارائه می‌کند. یکی از چالش‌های دنیای امروز در بهره‌برداری از منابع هیدروکربوری آب‌های عمیق، نصب سکوی مناسب می‌باشد. با توجه به شرایط دریای خزر و موج بودن آن، اهمیت نصب نوعی سکو که بهترین عملکرد را داشته باشد روشن‌تر خواهد بود و این مهم امروزه یکی از دغدغه‌های مسئولین کشور است. از میان انواع سکوهایی که وجود دارد، ۷ نوع سکوی FPSO، Classic SPAR، Truss SPAR، Cell SPAR، Semi-Submersible، Conventional TLP و Mini TLP در آب عمیق می‌توانند در آب عمیق مورد استفاده قرار گیرند. در این مقاله سعی بر آن شده که با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process) که یکی از بهترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است، بهترین نوع سکو با توجه به شرایط دریای خزر مشخص شود. با کمک نظر خبرگان و کارشناسان ۱۳ معیار و فاکتور کلیدی در جهت انتخاب بهترین سکو در آب‌های عمیق دریای خزر شناسایی شد. طبق روش تحلیل سلسله مراتبی پس از شناسایی معیارها و فاکتورهای کلیدی اولویت‌بندی سکوها از طریق مقایسات زوجی با کمک نظر خبرگان صورت می‌گیرد. در همین راستا از نظرات ۳ تن از خبرگان و صاحب نظران در حوزه سکوها و سازه‌های شناور (علاوه بر نگارندگان مقاله) بهره گرفته شد.

برای استفاده عملی از این رویه باید کارهای زیر صورت گیرد:

- حداقل ۷۰٪ کارشناسان و متخصصان مربوطه در سطح کشور، در خصوص چپستی و چگونگی این رویه به اجماع برسند و اصلاحات لازم صورت گرفته و دوباره تحلیل شود.
- حتما باید از متخصصان حرفه‌ای دست اندرکار در صنعت با رویکردهایی خاص استفاد شود.

کلمات کلیدی: سکو، آب عمیق، تحلیل سلسله مراتبی، دریای خزر

۱- مقدمه

وجود ذخایر نفتی در دریای خزر و اهمیت آن برای اقتصاد کشورهای منطقه از یک طرف و لزوم حاکمیت سیاسی کشور ما از طرف دیگر، اهمیت پرداختن به مقوله نفت خزر را نشان می‌دهد. کشورهای مجاور این دریا اقدامات گسترده‌ای به منظور استفاده از منابع نفتی آن را آغاز کرده‌اند. بدین لحاظ ضروری است که ایران نیز به موازات مباحث حقوقی و سیاسی مربوط به تعیین رژیم حقوقی دریای خزر، به مقوله‌های اکتشاف، حفاری و استخراج نیز توجه نماید. [۱] مطالعات انجام شده در این مقاله گام مهمی در جهت اتخاذ تصمیم‌های بهینه برداشته و همچنین بازکننده افق‌های جدید تحقیقاتی در عرصه علمی و فنی کشور می‌باشد. با توجه به اهمیت روزافزون منابع هیدروکربوری و نیاز به بهره‌برداری از آن‌ها در آب‌های عمیق دریای خزر، و همچنین با توجه به مسائل خاص طراحی سکو و انتقال آن به دریا، انتخاب سکو یا سکوهایی مناسب برای استفاده در فراساحل بسیار حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به عمقی که برای انواع سکو مناسب می‌باشد، انواع سکوهایی شناور که برای آب‌های عمیق مناسب می‌باشند عبارتند از: سکوی پایه کششی، سکوی نیمه شناور، سکوی Spar و سکوی FPSO. تاکنون سکوهایی مختلفی در آب‌های عمیق مورد استفاده قرار گرفته و طرح‌های بسیاری برای توسعه آن‌ها وجود دارد. در جدول ۲ تعداد سکوهایی موجود در آب‌های عمیق (تا سال ۲۰۰۶) در جهان آورده شده است. همچنانکه ملاحظه می‌شود، از برج‌های تطبیقی استقبال چندانی نشده است. سیستم FPSO، semi-submersible دارای تعداد قابل ملاحظه‌ای بوده و نیز نوع TLP در مقایسه با Spar بیشتر به کار رفته و همچنین سیستم‌های سیستم زیر دریا به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۱: حداکثر عمق بکار رفته برای سکوه‌های آب‌های عمیق در جهان [۱]

عمق	نوع سکوی مناسب
حدود ۳۰۰ متر	سکوی ثابت، برج‌ها تطبیقی
بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ متر	برج‌ها تطبیقی
بین ۴۰۰ تا ۶۰۰ متر	TLP, Spar
بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ متر	TLP, Spar, FPS
بالاتر از ۸۰۰ متر	FPS, FPSO, TLP, Spar

جدول ۲: تعداد سکوه‌های آب‌های عمیق در جهان [۲]

نوع سکو	تعداد موجود یا در حال ساخت
سکوی ثابت	۷
برج‌های تطبیقی	۴
FPSO	۱۱۹
TLP	۹
Mini-TLP	۱۲
Spar	۱۴
Semi-submersible	۴۳
Subsea-Tieback	۳۴۱

در ادامه هر یک از سکوه‌های معرفی شده و سکوه‌های مناسب دیگر تشریح خواهند شد.

۲- سازه‌های مناسب برای دریا‌های عمیق

در برخی از سکوه‌های دریا‌های عمیق، ایده کلی، استفاده از تعادل شناوری سازه فوقانی می‌باشد و در بعضی مانند آب‌های کم‌عمق، وزن سازه به کف دریا منتقل می‌گردد. در اوایل شناخت منابع نفتی، استخراج نفت، بیشتر از مناطق کم عمق صورت می‌گرفت، به مرور با کاهش ذخایر این بخش‌ها و بعلاوه اثبات وجود نفت در مناطق عمیق‌تر، امروزه در نقاط مختلفی از دنیا به صنایع استخراج نفت از آب‌های عمیق پرداخته می‌شود. [۳] در اینجا به طور خلاصه کلیاتی در مورد سکوه‌های مختلف که برای آب‌های عمیق مناسب هستند، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۲- سکوی پایه کششی (Tensioned Leg Platform)

سکوی پایه کششی پس از نصب بسیار کارآمد است. با این حال سیستم تاندون به لحاظ عملکرد بسیار حساس و بحرانی است. کم‌انرژی و ارتعاشات مسائلی هستند که در سیستم تاندون بسیار حائز اهمیت می‌باشند. بنابراین این سیستم باید به دقت طراحی، مونتاژ، بازرسی و نصب شده تا کارایی طولانی مدت آن تضمین شود. نصب تاندون نیازمند تجهیزات خاص و عملیات دقیق و همراه با مراقبت می‌باشد.

مزایای سکوی پایه کششی

- دسترسی به چاه‌ها بصورت عمودی از طریق رایزرهای تحت کشش
- تجهیزات سرچاهی (dry trees) روی سطح آب قرار می‌گیرند
- مدیریت و انجام کارهای ضروری روی چاه‌های دور از طریق رایزرهای کتنری فولادی
- قابلیت حفاری و انجام فعالیت‌های مرتبط روی سکو
- بهبود مشخصه‌های حرکت در مقایسه با اسپارها و نیمه مغروق‌ها
- یکپارچه‌سازی و آماده‌سازی سکو قبل از نصب
- کارایی اثبات شده

معایب سکوی پایه کششی

- نسبت پایین عمق آب به بار قابل تحمل سکو
- هزینه بالای سیستم تاندون
- سیستم مهاربندی عمودی کنترل اکتیو را برای حفظ موقعیت افقی سکو ایجاد نمی‌کند [۹]

۲-۱-۱- سکوی پایه کششی معمولی

این سکو تقریباً به شکل نیمه مغروق است، اما با کابل‌های تحت کشش به کف دریا متصل گردیده که باعث به وجود آوردن ۱۵ تا ۲۵ درصد نیروی شناوری اضافه می‌گردند. این نوع سکوها در شکل‌های مربعی، ستاره دریایی، مثلثی و مربعی توسعه داده شده طراحی و ساخته شده است. استفاده از مصالح کمتر، مناسب‌سازی برای استفاده در آب‌های عمیق‌تر و بهبود ویژگی‌های دینامیکی سکو علت اصلی تنوع شکل این نوع سکو در تاریخ بهره‌برداری از این نوع سکوها می‌باشد.

تحت کشش بودن سکو باعث کاهش بسیار زیاد حرکات عمودی و غلتش سکو می‌شود. البته حرکات افقی (surge, sway, yaw) سکو در اثر امواج بزرگ به وجود می‌آیند. پیوند بسیار پایین حرکات صفحه عمودی (۱ تا ۴ ثانیه) و پیوند بسیار بالای حرکات صفحه افقی (۸۰ تا ۱۵۰ ثانیه) باعث می‌شود این سکو از پدیده تشدید بدور باشد.

کابل‌های عمودی وسایل مطمئنی برای نگهداشتن سکو در موقعیت مناسب نسبت به چاه هستند. بنابراین عملیات لازم بر روی نفت در سکو انجام می‌گیرد و نیازی به استقرار تجهیزات فراوری اولیه روی بستر دریا نمی‌باشد. سپس نفت آماده از طریق لوله به نقاط موردنظر انتقال می‌یابد.

۲-۱-۲- سکوی پایه کششی کوچک (Mini-TLP, Sea Star)

سکوی پایه کششی کوچک‌تر و با هزینه کمتری است که برای آب‌های کم‌عمق‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین می‌تواند به عنوان یک سکوی بهره‌برداری و تاسیساتی برای اکتشافات آب‌های عمیق استفاده شود. اولین سکوی پایه کششی کوچک در سال ۱۹۹۸ در خلیج مکزیک نصب شد.

۲-۲- سکوی نیمه شناور (Semi-submersible Platform)

این سکو برای آب‌های تا عمق ۲۵۰۰ متر مناسب است. سکو دارای یک عرشه اصلی است که تجهیزات حفاری در روی آن قرار دارد و نیز دو پانتون که تامین‌کننده شناوری سکو بوده و بوسیله ستون‌هایی به عرشه اصلی وصل می‌شوند. سکو را می‌توان بوسیله مهارهای کابلی یا زنجیری در موقعیت موردنظر مهار نمود. عرشه سکو در مرکز دارای یک سوراخ بزرگ به نام مون پول (moon pool) است که فعالیت‌های لازم جهت حفاری از طریق آن انجام می‌پذیرد. اکثر نیمه شناورها دارای فضاهای مسکونی نیز هستند تا کارکنان سکو بتوانند برای مدت زمانی نسبتاً طولانی روی سکو باقی بمانند. همچنین باند هلیکوپتر، موتورهای رانش، جرثقیل‌ها، و بسیاری دیگر از تجهیزات جزء ملزومات چنین سکوهایی است. همانند سکوی اسپار خریایی، مهارهای گسترده سکوی نیمه مغروق تأثیری بر حرکات هم فرکانس با موج سکو ندارد. سکوی نیمه مغروق بمنظور کاهش حرکات عمودی به صفحه آب‌خور کوچکشان وابسته هستند. حرکات عمودی بسیاری از سکوها نیمه مغروق طراحی شده در خلیج مکزیک به گونه‌ای است که استفاده از رایزرهای تحت کشش را غیرممکن می‌کند.

مزایای سکوهای نیمه شناور:

- حساسیت کمتر به عمق آب در مقایسه با سکوی پایه کششی
- محدوده وسیعی از ظرفیت باربری
- نصب بصورت یک سیستم کاملاً یکپارچه
- انعطاف بسیار زیاد در برنامه اجرا
- پشتیبانی چاه‌های دور
- قابلیت حفاری و انجام فعالیت‌های مرتبط روی سکو با استفاده از دستگاه BOP
- راحتی قابل نصب در محل جدید است
- قابلیت جابجایی با سرعت بالا در حدود ۸-۱۰ kn
- سطح آب‌خور پایین نسبت به کل جابجایی سازه که باعث عدم تأثیر زیاد امواج بر روی یازه می‌گردد.
- سطح دک مناسب برای لوله‌ها و دیگر اجزاء

معایب سکوهای نیمه شناور:

- هزینه اولیه و روزانه بالا
- کارایی پایین دک برای بارگذاری‌های بالا
- عدم توانایی گذار از کانال‌های مهم
- امکانات dry docking محدود برای سرویس
- مشکلات مرتبط با تجهیزات لنگراندازی هنگامی که دریا متلاطم است.

- حرکات سکو

- عدم پشتیبانی از رایزرهای تحت کشش

- خستگی رایزرهای کنتری فولادی بدلیل حرکات زیاد سکو

محدودیت های اشاره شده در بالا بطور کلی طبیعی هستند. وقتی که یک سکوی نیمه مغروق طراحی می شود هدف اساسی کمینه کردن حرکات بمنظور رسیدن به الزامات کاربردی از قبیل قابلیت پشتیبانی از رایزرهای کنتری فولادی و مدت زمان قابل حفاری می باشد. شاید پیچیدگی سکوی نیمه مغروق برای ساخت و مونتاژ کم باشد ولی حرکات کلی آن نسبت به اسپار و سکوی پایه کششی مطلوب نیست. بنابراین حرکات تاثیر زیادی بر ظرفیت کاربرد و عملکرد سکو دارند. [۹]

۲-۳- سکوی اسپار

سیستم مهار گسترده اسپار تاثیری بر حرکات هم فرکانس با موج آن ندارد. به جای آن، اسپار برای نگه داشتن حرکات عمودی در یک حد قابل قبول، به آبخور زیاد و جرم زیاد موثر خود وابسته است.

مزایای سکوی اسپار:

- حساسیت کمتر به عمق آب نسبت به سکوی پایه کششی
- امکان استفاده از تجهیزات سر چاهی (dry trees) روی سطح آب
- دسترسی به چاه ها به صورت عمودی
- پشتیبانی از چاه های دوردست
- امکان حفاری و انجام فعالیت های مرتبط روی سکو
- پشتیبانی از رایزرهای تحت کشش در آبهای بسیار عمیق
- سیستم مهاربندی جانبی اکتیو می تواند حفاری از چاه های بزرگ را ممکن سازد. [۹]
- رفتار دینامیکی مطلوب در مقایسه با سایر سیستم ها
- پایداری (مرکز شناوری بالاتر از مرکز جرم می باشد)
- عدم حساسیت هزینه به عمق آب
- قابلیت استفاده در اعماق زیاد (بیش از ۳۰۰۰ متر) [۳]

معایب سکوی اسپار:

- حساس به امواج با پررود بالا
- فضای محدود حفره میانی برای تعداد زیاد رایزرهای تحت کشش

سکوی اسپار معمولاً شامل یک قسمت بالایی بویانس (hard tank)، یک قسمت پایینی عمیق شامل بلوک های بالاست جامد دائمی (keel tank)، و یک رابط سازه ای بین این دو می باشد. این رابط می تواند به شکل یک خرپا (برای اسپارهای خرپایی) یا یک سیلندر دایروی مغروق (برای اسپارهای کلاسیک) باشد.

سکوی اسپار پس از نصب بسیار کارآمد خواهد بود ولی ابعاد و آبخور زیاد پیچیدگی ساخت و تحویل را بالا می برد. انتقال از روی اسکله به درون آب، انتقال، قائم کردن سکو در محل نصب، و نصب و همچنین بلند کردن سوپر استراکچر و نصب روی سکو باید با دقت و احتیاط طراحی و اجرا شود تا از تحمیل هزینه اضافی و به تعویق افتادن بهره برداری جلوگیری بعمل آید. [۹]

۲-۳-۱- سکوی اسپار کلاسیک (Classic Spar Platform)

این سکو عبارت است از یک سازه استوانه‌ای شناور که به محل مورد نظر کشیده می‌شود و بوسیله آب بالاست در جهت عمودی پایین برده می‌شود. این سکو در قسمت بالا دارای یک نوع سکوی ثابت (عرشه به همراه تجهیزات حفاری و بهره برداری)، سه نوع رایزر (بهره برداری، حفاری و انتقال) و یک بدنه که بوسیله سیستم کانتی کشیده شده محکم به کف دریا مهار شده‌اند. قسمت تحتانی این سکو با ماده‌ای سنگین تر از آب پر شده تا مرکز ثقل را پایین کشیده و پایداری سکو را بالا ببرد. خطوط مهاربندی این سکوها بصورت زنجیر-کابل-زنجیر یا زنجیر-پلی استر-زنجیر می‌باشد.

۲-۳-۲- سکوی اسپار خرپایی (Truss Spar Platform)

سکوی اسپار خرپایی از یک مخزن استوانه‌ای (که کوتاهتر از استوانه اسپارهای کلاسیک می باشد) تشکیل شده است. یک سازه خرپایی به زیر این استوانه متصل شده که در قسمت پایینی این سازه خرپایی در چند سطح احجام مکعبی شکل با ارتفاع کم دیده می‌شود که همان وزنه‌های سنگین پایین‌آورنده مرکز ثقل هستند. وظیفه دیگر این صفحات مربعی شکل تامین دمپینگ مورد نیاز سازه برای کاهش حرکات می‌باشد. بیشتر اسپارهای مورد استفاده، از این نوع می‌باشند.

۲-۳-۳- سکوی اسپار سلولی (Cell Spar Platform)

اسپار سلولی از یک استوانه مرکز تشکیل شده که استوانه‌های دیگری با ابعاد متفاوت با استوانه مرکزی آن را احاطه کرده‌اند. در پایین‌ترین نقطه استوانه مرکزی یک جسم مکعبی سنگین قرار دارد که وظیفه تامین دامپینگ سازه و پایین آوردن مرکز ثقل را بر عهده دارد. در دنیا تنها یک سکوی اسپار سلولی ساخته و به آب اندازی شده است.

۲-۴- سیستم بهره‌برداری، ذخیره و تخلیه نفت (FPSO)

FPSO معمولاً یک بدنه مشابه کشتی دارد که نفت خام را در مخازن داخل بدنه ذخیره کرده و از مساحت عرشه بسیار وسیع برای استقرار تجهیزات روی دک بهره می‌برد. هر چند مونتاژ بدنه شامل هندسه‌ها و تقویت‌کننده‌های نسبتاً پیچیده (مانند احجام fair، بلوک های دوجداره و غیره) می‌باشد، بسیاری از مجموعه‌های ساخت در جهان قابلیت‌های خاص مورد نیاز را برای طراحی و ساخت این شناورها دارند. بنابراین ساخت بدنه در مقایسه با دیگر فرآیندهای لازم جهت تحویل این شناورها، یک فرآیند با ریسک و قیمت پایین محسوب می‌شود. وقتی سیستم انتقال نفت بوسیله تانکر از محل تولید بعنوان شیوه انتقال آن انتخاب می‌شود، از آنجا که تانکرها در حال رفت و آمد بوده و حضور دائمی در محل تولید نفت ندارند، نیاز است که نفت به شیوه‌ای در یک مخزن ذخیره شود و وقتی نفتکش برای بارگیری آمد، با اتصال به این مخزن بارگیری نماید. FPSOها در مناطق دوردست یا آب‌های عمیق که لوله‌گذاری در دریا به صرفه نمی‌باشد بسیار مفید واقع می‌شوند. این شناورها نیاز به لوله‌کشی پرهزینه از محل تولید تا پایانه نفتی ساحلی یا نزدیک ساحلی را برطرف می‌کند. این شناورها می‌توانند گزینه خوبی برای حوزه‌های نفتی‌ای باشند که پس از چند سال رو به ضعف گذاشته و لوله‌کشی‌های هزینه بر زیردرا برای این حوزه‌ها توجیه اقتصادی ندارد.

FPSO ها بمنظور دریافت نفت از سکوها یا ایستگاه‌های زیردریایی نزدیک و سپس انجام فراوری‌های اولیه روی آن و همچنین ذخیره آن بکار گرفته شدند. این شناور می‌تواند نفت را مستقیماً به تانکر منتقل کرده یا در موارد معدودی با اتصال به یک خط لوله کشی به ساحل منتقل کند. از آنجا که نصب و به راه اندازی این شناورها در محل مربوط آسان بوده و در حضور این شناورها نیاز به خطوط لوله‌کشی برای انتقال نفت نمی‌باشد، استفاده از این‌ها در مناطق فراساحلی دوردست ارجحیت دارد. این شناورها را می‌توان با تغییر کاربری یک تانکر یا بطور مستقل بصورت یک سازه-ی از پایه طراحی شده به همین منظور، تولید کرد.

مزایای سکوی FPSO:

یکی از مزایای FPSO فضای دک وسیع و ظرفیت زیاد ذخیره سازی میعانات می باشد. مساحت زیاد دک فضای زیادی را برای تجهیزات و واحدهای ایمن و قابل تعمیر جهت عملیات فرآوری ایجاد می کند. وقتی میدان نفتی خیلی دور از تجهیزات لوله‌کشی باشد، ذخیره‌سازی نفت یک مزیت بسیار بزرگ به حساب می‌آید. [۴]

معایب سکوی FPSO:

محدودیت این تجهیزات در حرکات آن می‌باشد که برای پشتیبانی dry trees در کاربردهای معمول بیش از اندازه می‌باشد. همچنین به یک سیستم مهار turret برای بیشتر شرایط محیطی نیاز است. سیستم مهار turret به FPSO این اجازه را می‌دهد که حول یک نقطه مهار ثابت گردش کند و در بهترین شرایط نسبت به پدیده‌های محیطی مانند باد، موج و جریان قرار گیرد. وقتی موج و باد و جریان هم جهت هستند، سیستم مهار turret کارایی بسیار خوبی از خود نشان می‌دهد. [۹]

۳- روش شناسی انجام مطالعه مقایسه‌ای

در علم تصمیم‌گیری که در آن انتخاب یک راهکار از بین راهکارهای موجود و یا اولویت‌بندی راهکارها مطرح است، چند سالی است که روش‌های تصمیم‌گیری با شاخص‌های چند گانه «MADM» جای خود را باز کرده‌اند. از این میان روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) بیش از سایر روش‌ها در علم مدیریت مورد استفاده قرار گرفته است. فرایند تحلیل سلسله مراتبی در هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبروست می‌تواند استفاده گردد. معیارهای مطرح شده می‌تواند کمی و کیفی باشند.

اساس این روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی نهفته است. تصمیم‌گیرنده با فراهم آوردن درخت سلسله مراتبی تصمیم آغاز می‌کند. درخت سلسله مراتب تصمیم، عوامل مورد مقایسه و گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. سپس یک سری مقایسات زوجی انجام می‌گیرد. این مقایسات وزن هر یک از فاکتورها را در راستای گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می‌دهد. در نهایت منطبق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به گونه‌ای ماتریسهای حاصل از مقایسات زوجی را با یکدیگر تلفیق می‌سازد که تصمیم بهینه حاصل آید. [۴]

در این رساله نیز با عنایت بر اینکه هدف انتخاب بهترین سکو با توجه به معیارهای موجود می‌باشد است، منطقی به نظر می‌رسد که از این روش استفاده شود. برای استفاده از این روش ابتدا معیارهای مهم جهت انتخاب سکو با مشورت خبرگان تعیین شده که به شرح زیر می‌باشند:

۳-۱- پیچیدگی: در طراحی و ساخت بدنه و تجهیزات سکو در شرایط برابر یکی از معیارهای مهم انتخاب سکو است. بی شک تحلیل سازه‌ای و هیدرودینامیکی المان‌های سازه‌ای و پیکره‌بندی‌های پیچیده دشوار تر بوده و ساخت آن‌ها با مشکلات بیشتری همراه خواهد بود.

۳-۲- هزینه ساخت سکوها پارامتر بسیار مهمی در انتخاب سکو بوده و می‌تواند نقش مهمی در اقتصادی بودن طرح ایفا کند. با توجه به مأموریت‌های تعریف شده برای سکو و ظرفیت حفاری و استخراج می‌توان طرحی که به لحاظ اقتصادی بهینه است را تدوین نمود.

- ۳-۳- ظرفیت ذخیره‌سازی مواد هیدروکربوری یکی از فاکتورهای مورد توجه در انتخاب سکو می‌باشد که متناسب با موقعیت نصب سکو و نحوه ارتباط آن با حامل‌های مواد هیدروکربوری متغیر است. برای مثال هرچه امکان مراجعه زود هنگام نفت‌کش‌ها به سکو کمتر باشد و لوله‌کشی در بستر دریا ممکن نباشد باید از سکوهایی استفاده کرد که قابلیت ذخیره حجم بیشتری از مواد هیدروکربوری را در مخازن خود داشته باشند.
- ۳-۴- دامنه حرکات و شتاب‌ها به لحاظ عملکرد تجهیزات و نفرات مستقر روی سکو اهمیت دارد. به عنوان مثال در آب‌های عمیق طبق آیین‌نامه دامنه حرکات سکو نباید از ۷ درصد عمق آب بیشتر باشد و همچنین شتاب زیاد حرکات می‌تواند در عملکرد ماشین آلات روی سکو مشکل ایجاد کند. بنابراین عملکرد سکوها در شرایط محیطی منطقه نفتی یا گازی مورد توجه می‌باشد.
- ۳-۵- هزینه سیستم مهار می‌تواند یکی از مسائل موثر در انتخاب سیستم مهار می‌باشد. جنس خطوط مهار و ماکزیمم کشش قابل تحمل توسط خط مهار از مسائلی هستند که روی قیمت خطوط مهار و در نهایت هزینه نهایی سکو موثرند.
- ۳-۶- سهولت نصب و جمع‌آوری سیستم مهار نیز فاکتور مهمی است که بدلیل موقتی بودن نصب سکوه‌های اسپار و سکوه‌های نیمه‌شناور مورد توجه قرار می‌گیرند. حتی ممکن است در یک سال یک سکو چندین بار جابجا شود و اگر نصب و جمع‌آوری خطوط مهار دشوار باشد هزینه، زمان و انرژی زیادی به این خاطر تلف خواهد شد.
- ۳-۷- قابلیت و سهولت انتقال سکو از مسائل مهمی است که آن نیز بیشتر بدلیل موقتی بودن استقرار سکو اهمیت پیدا می‌کند. خودرانش بودن و قابلیت یا سهولت انتقال با یدک کش نسبت به انتقال با بارج از مسائلی هستند که در این زمینه مورد توجه قرار می‌گیرند.
- ۳-۸- استفاده در اعماق زیاد دریای خزر مسئله‌ای است که ممکن است برای برخی از سکوها مقدور نباشد. به عنوان مثال استفاده از سکوی جک آپ در عمق ۸۰۰ متری در حالی که امکان استفاده از سکوی نیمه شناور وجود دارد توجیه پذیر نیست.
- ۳-۹- قابلیت استخراج از چندین چاه مختلف برای حوزه‌های هیدروکربوری که شامل چندین چاه می‌شوند می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. قابلیت استفاده از یک یا تعداد معدودی سکو برای استخراج از چندین چاه بجای استفاده از تعداد سکوه‌های بیشتر برای استخراج از همان تعداد چاه نقش بسیار مهم و قابل توجهی در اقتصادی بودن تولید مواد هیدروکربوری ایفا می‌کند.
- ۳-۱۰- قابلیت اسکان نفرات نیز مسئله حائز اهمیتی است. امکان اسکان تمامی پرسنل سکو روی آن نیاز به شناورها یا سکوه‌های اسکان را مرتفع می‌کند.
- ۳-۱۱- سهولت تعمیرات و نگهداری سکو نیز از عوامل بسیار مهمی است که باید به آن توجه داشت. سهولت تعمیر یا تعویض قطعات در دریا و عدم نیاز به تجهیزات سنگین مانند جرثقیل‌های ظرفیت بالا و همچنین نیاز کمتر به شناورهای خدماتی فراساحلی برای کارهای مختلف از این دسته می‌باشند.
- ۳-۱۲- قابلیت فرآوری مواد هیدروکربوری نیز از قابلیت‌های ارزشمندی است که می‌تواند هزینه‌ی فرآوری محصولات در خشکی را کاهش دهد. برای سکوهایی که محصولات خود را مستقیماً به تانکرها تحویل می‌دهند. این قابلیت می‌تواند مزیت بزرگی باشد.
- ۳-۱۳- میزان انطباق با تکنولوژی‌های موجود در ایران نیز یکی از مواردی است که باید مورد توجه قرار گیرد. چراکه در صورت نداشتن تکنولوژی متناسب یک سکو نمی‌توان از آن در دریای خزر استفاده نمود و این معیار می‌تواند تاثیر بزرگی داشته باشد.
- در ادامه به منظور انجام مقایسات زوجی ۱۳ جدول که شامل مقایسات زوجی گزینه‌ها بر اساس معیارها و ۱ جدول شامل مقایسات زوجی معیارها تهیه شده که نمونه‌ای از آن‌ها به شکلی که در جدول ۳ آمده است تهیه گردیده و به تعدادی از کارشناسان و خبرگان در سطح کشور ارسال گردید. در این بین، ۵ پرسشنامه تکمیل شده و برگشت داده شد.

جدول ۳: جدول مقایسات زوجی سکوها براساس معیار پیچیدگی ساخت

معیار: پیچیدگی ساخت							
	FPSO	Classic SPAR	Truss SPAR	Cell SPAR	Semi-submersible	Conventional TLP	Mini TLP
FPSO							
Classic SPAR							
Truss SPAR							
Cell SPAR							
Semi-submersible							
Conventional TLP							
Mini TLP							

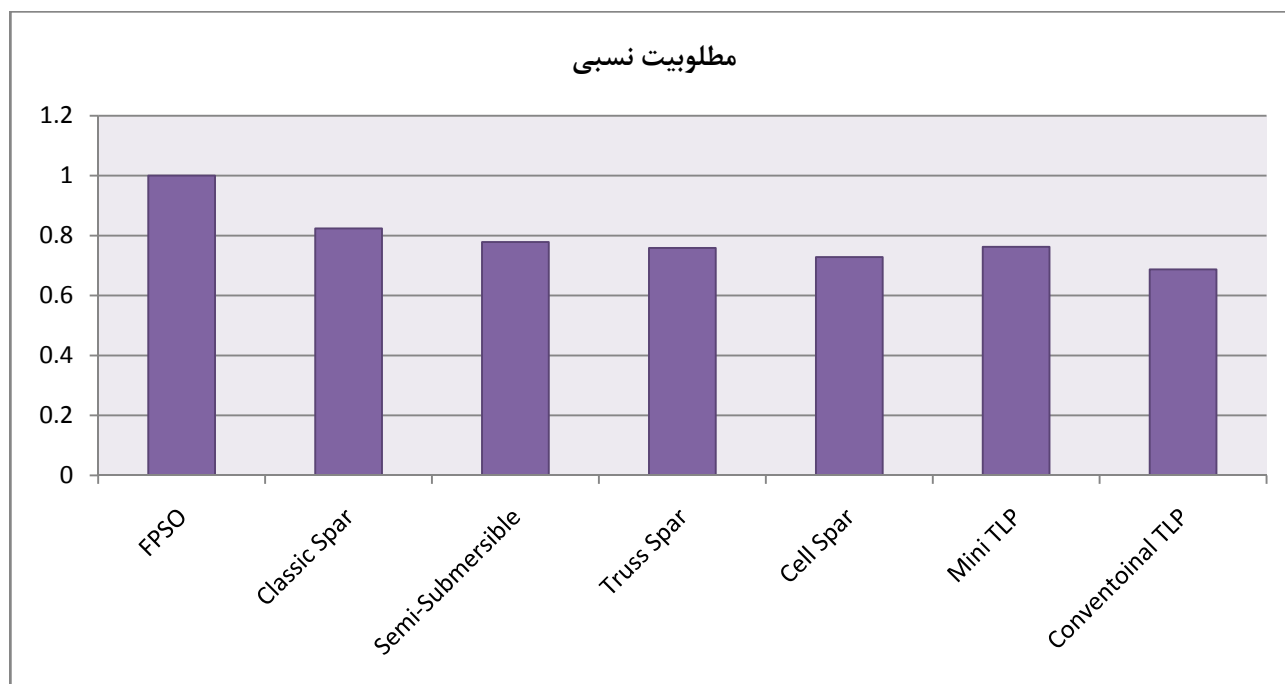
جدول ۴: شبکه داده ها

معیارها													وزن کل	سکوها
میزان تناسب با تکنولوژیهای موجود در ایران (۰.۱۲۲)	قابلیت استفاده در اعماق دریای خزر (۰.۱۰۴)	قابلیت استخراج از چندین چاه مختلف (۰.۰۶۴)	هزینه ساخت (۰.۱۰۴)	سهولت تعمیر (۰.۰۶۱)	قابلیت و سهولت انتقال سکو (۰.۰۴۵)	سهولت نصب و جمع آوری سیستم مهار (۰.۰۶۵)	هزینه سیستم مهار (۰.۰۴۲)	قابلیت اسکان مناسب (۰.۰۲۴)	دامنه حرکات و شتابها (۰.۱۵۲)	قابلیت فرآوری مواد هیدروکربور (۰.۰۳۵)	ظرفیت ذخیره سازی مواد هیدروکربوری (۰.۰۶۶)	پیچیدگی ساخت (۰.۱۱۵)		
														FPSO
														Classic Spar
														Semi-Submersible
														Truss Spar
														Cell Spar
														Mini TLP
														Conventional TLP

ارائه نتایج مطالعات

با رویکرد تحلیل سلسله مراتبی مقایسات زوجی سکوهای انتخابی براساس معیارهای پیشنهادی انجام شده و خلاصه‌ای از نتایج در جدول ۴ آورده شده است. ستون دوم این جدول وزن هر سکو را داده است که نشان‌دهنده برتری سکوهای FPSO, Classic Spar, Semi-Submersible نسبت به سایرین می‌باشد. در ستون‌های بعدی معیارهای مورد مطالعه و وزن اختصاصی به هر یک با توجه به امتیازدهی خبرگان و یکپارچه نمودن آنها و همچنین مقدار عددی هر سکو نسبت به هر معیار آورده شده است. در این ستون‌ها اعداد نرمال شده و سلول‌های مرتبط با بیشترین امتیاز هر معیار به رنگ تیره نشان داده شده است. هر سکویی که خانه‌های تیره رنگ به آن تعلق داشته باشد، نشان‌دهنده برتری آن سکو در آن معیارها می‌باشد.

در شکل ۱ مطلوبیت نسبی سکوها نشان داده شده است.



شکل ۱: مطلوبیت نسبی (امتیاز هر سکو تقسیم بر بیشینه)

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

روش رویه‌مندی در انتخاب سکوی مناسب برای آب‌های عمیق ایران پیشنهاد شد. دوباره تأکید می‌شود که آنچه در این مقاله ارائه شده، نمی‌تواند به عنوان سندی برای انتخاب نهایی نوع سازه باشد؛ بلکه فقط روش رویه‌مند این کار را ارائه می‌کند. با دقت در نتایج بسیار محدود این مقاله می‌توان دریافت که به طور خام و ابتدایی، FPSO مناسب‌ترین نوع سازه بوده و SPAR و TLP اختلاف کمی دارند.

توجه شود که طیف کارشناسان، بسیار گسترده‌تر از چیزی است که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است. حتماً باید از متخصصان حرفه‌ای دست‌اندرکار در صنعت با رویکردهایی خاص استفاده شود. همچنین لازم است در خصوص این رویه، حداقل ۷۰٪ کارشناسان و متخصصان مربوطه در سطح کشور، به اجماع برسند و اصلاحات لازم صورت گرفته و دوباره تحلیل شود؛ سپس بر اساس نتایج حاصل، تصمیم‌گیری شود.

قدردانی

از آقایان حجت شیری، محمدجواد کتابداری و مسعود بیگلرخانی که پرسش‌نامه‌های مربوطه را پرکردند، کمال تشکر و قدردانی را داریم.

مراجع

- [۱] تابش‌پور، م.ر.، سیف، م.س.، گل‌افشانی، ع.ا.، محمدنیا، س.، "مطالعه مقایسه‌ای سیستم‌های مناسب برای استخراج نفت از دریای خزر"، ششمین همایش صنایع دریایی کشور، ۱۳۸۴
- [۲] تابش‌پور، م.ر.، گل‌افشانی، ع.ا.، سیف، م.س.، "مباحثی در انتخاب و بهینه‌سازی سیستم‌های استخراج نفت از آب‌های عمیق"، اولین همایش صنایع فراساحل و حضور در بازارهای جهانی، ۱۳۸۴

- [۳] گل افشانی، ع.ا.، سیف، م.س.، تابش پور، م.ر.، رحمانیان، آ.، "سازه‌های مناسب برای استخراج نفت از دریای خزر" چهارمین همایش ملی صنایع دریایی ایران، ۱۳۸۱
- [۴] قدسی پور، سید حسن، "مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره"، انتشارات دانشگاه امیر کبیر، چاپ سوم، ۱۳۸۱.
- [۵] بسته نرم‌افزاری Expert Choice
- [۶] تابش پور، م.ر.، "تحلیل ارتعاشی سکوهاى آب‌های عمیق"، زیر چاپ.
- [۷] تابش پور، م.ر.، قیصری، ح.ر.؛ سیف، م.س.، "مروری بر تجربیات موجود در زمینه سکوی اسپار برای آب‌های عمیق"، ارسال شده.
- [۸] سیف، م.س.؛ عاشوری‌زاده، ر.؛ ایزدخواه، م.؛ بابایی، سحر؛ "ضرورت و روش تدوین نقشه راه فناوری آب‌های عمیق"، نشریه فراساحل ارونند، شماره ۵۴.
- [9] <http://www.houston-offshore.com/solutions/>
- [10] Offshore Engineering 2004.
- [11] www.gomr.mms.gov