

# روشی برای اولویت‌بندی انتخاب

## سکوها در آب‌های عمیق خزر

با استفاده از رویکرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

محمدسعید سیف<sup>۱</sup>، محمدرضا تابش‌پور<sup>۲</sup>، سحر بابایی<sup>۳</sup>، اکبر محمدی<sup>۴</sup>، علی احمدی<sup>۵</sup>

### چکیده

آنچه در این مقاله ارائه شده، نمی‌تواند به‌عنوان 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 به شمار می‌رود. 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 مسئولان کشور است. از میان انواع سکوهایی که وجود دارد، ۷ نوع سکوی FPSO، Classic SPAR، Truss SPAR، میان انواع سکوهایی که وجود دارد، ۷ نوع سکوی Mini TLP و Cell SPAR، Semi-Submersible، Conventional TLP عمیق مورد استفاده قرار گیرند. در این مقاله سعی شده با استفاده از روش فرآیند 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 و نظر خبرگان و کارشناسان، ۱۳ معیار 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 خبرگان صورت می‌گیرد. در همین راستا از نظر سه نفر 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 درصد کارشناسان و متخصصان مربوطه در سطح کشور، در خصوص چستی 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

### 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 به‌منظور استفاده از منابع

نفتی آن 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 کند.<sup>[۱]</sup> 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 است. 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 است. با توجه به عمقی که برای انواع سکو

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، مطرح می‌شود.

## ۲-۱- 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. کماتش و ارتعاشات مسائلی هستند که در سیستم تاندون بسیار اهمیت دارند، از این رو این سیستم باید به دقت طراحی، مونتاژ، بازرسی و نصب شود تا کارایی طولانی مدت آن تضمین گردد. نصب تاندون نیازمند تجهیزات خاص و عملیات دقیق و همراه با مراقبت است.

## مزایای سکوی پایه کششی

- دسترسی به چاه‌ها به صورت 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 کنتری فولادی
- قابلیت حفاری و انجام فعالیت‌های مرتبط روی سکو
- بهبود مشخصه‌های حرکت در مقایسه با اسپارها و نیمه‌مغروق‌ها
- 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

مناسب است، انواع سکوه‌های شناور که برای آب‌های عمیق مناسب هستند عبارتند از: سکوی پایه کششی، سکوی نیمه شناور، سکوی Spar و سکوی FPSO.

تاکنون سکوه‌های مختلفی در آب‌های عمیق مورد استفاده قرار گرفته و طرح‌های بسیاری برای توسعه آنها وجود دارد. در جدول ۲ تعداد سکوه‌های موجود در آب‌های عمیق (تا سال ۲۰۰۶) در جهان آورده شده است. همچنان که 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 زیر دریا به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۱: حداکثر عمق به کار رفته برای سکوه‌های آب‌های عمیق در جهان<sup>[۱]</sup>

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

جدول ۲: تعداد سکوه‌های آب‌های عمیق در جهان<sup>[۲]</sup>

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 و سکوه‌های مناسب دیگر تشریح خواهند شد.

## ۲-۲ سازه‌های مناسب برای دریا‌های عمیق

در برخی از سکوه‌های دریا‌های عمیق، ایده کلی، استفاده از تعادل شناوری سازه فوقانی است و در بعضی مانند آب‌های کم‌عمق، وزن سازه به کف دریا منتقل می‌شود. در اوایل شناخت منابع نفتی، استخراج نفت بیشتر از مناطق کم عمق صورت می‌گرفت، به مرور با کاهش ذخایر این بخش‌ها و به علاوه اثبات وجود نفت در مناطق عمیق‌تر، امروزه در نقاط مختلفی از دنیا به

- سطح آب‌خور پایین نسبت به کل جابجایی سازه که باعث عدم تاثیر زیاد امواج بر روی آن می‌شود
- سطح دک مناسب برای لوله‌ها و دیگر اجزا

### معایب سکوه‌های 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 هنگام تلاطم دریا

### حرکات سکو

- عدم پشتیبانی از رایزرهای تحت کشش
- خستگی رایزرهای کنتری فولادی به دلیل حرکات زیاد سکو

محدودیت‌های اشاره شده در بالا به طور کلی طبیعی هستند. وقتی یک سکو نیمه‌مغروق طراحی می‌شود، هدف اساسی کمینه کردن حرکات به‌منظور رسیدن به الزامات کاربردی از قبیل قابلیت پشتیبانی از رایزرهای کنتری فولادی و مدت زمان قابل حفاری است.

شاید پیچیدگی سکو نیمه‌مغروق برای ساخت و مونتاژ کم باشد، ولی حرکات کلی آن نسبت به اسپار و سکو پایه کششی مطلوب نیست، بنابراین حرکات تاثیر زیادی بر ظرفیت کاربرد و عملکرد سکو دارند. [۹]

### ۲-۳- سکوی اسپار

سیستم مهار گسترده اسپار تاثیر 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 سکو پایه کششی

### ۲-۲- سکوی نیمه‌شناور

(Semi-submersible Platform)

این سکو برای آب‌های تا عمق ۲۵۰۰ متر مناسب است. سکو دارای یک عرشه اصلی است که تجهیزات حفاری روی آن قرار دارد و نیز دو پانتون که تامین‌کننده شناوری سکو بوده و به وسیله ستون‌هایی به عرشه اصلی وصل می‌شوند. سکو را می‌توان به وسیله مهارهای کابلی یا زنجیری در موقعیت موردنظر مهار کرد. عرشه سکو در مرکز دارای یک سوراخ بزرگ به نام مون پول (moon pool) است که فعالیت‌های لازم برای حفاری از طریق آن انجام می‌پذیرد. اکثر نیمه‌شناورها دارای فضاهای مسکونی نیز هستند تا کارکنان سکو بتوانند برای مدت زمانی نسبتاً طولانی روی سکو باقی بمانند. همچنین باند هلی‌کوپتر، موتورهای رانش، جرتقیل‌ها و بسیاری دیگر از تجهیزات جزو ملزومات چنین سکوهایی است.

همانند سکوی اسپار خرابی، مهارهای گسترده سکوی نیمه‌مغروق تاثیر بر حرکات هم فرکانس با موج سکو ندارد. سکو نیمه‌مغروق به‌منظور کاهش حرکات عمودی به صفحه آب‌خور کوچک‌شان وابسته هستند. حرکات عمودی بسیاری از سکوه‌های نیمه‌مغروق طراحی شده در خلیج مکزیک به گونه‌ای است که استفاده از رایزرهای تحت کشش را غیرممکن می‌کند.

### مزایای سکوه‌های نیمه شناور

- حساسیت کمتر به عمق آب در مقایسه با سکو پایه کششی
- محدوده وسیعی از ظرفیت باربری
- نصب به صورت 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
- سهولت نصب در محل جدید
- قابلیت جابه‌جایی با سرعت بالا در حدود ۱۰ kn

- 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 می‌شود که ۱۵ تا ۲۵ درصد نیروی شناوری اضافه را به دنبال دارد. 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 است.

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. پریود بسیار پایین حرکات صفحه عمودی (۱ تا ۴ ثانیه) و پریود بسیار بالای حرکات صفحه افقی (۸۰ تا ۱۵۰ ثانیه) باعث می‌شود این سکو از پدیده تشدید به‌دور 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 نیست. سپس نفت آماده از طریق لوله به نقاط موردنظر انتقال می‌یابد.

### ۲-۱-۲- سکوی پایه کششی کوچک

(Mini-TLP, Sea Star)

سکو پایه‌کششی کوچک‌تر و با هزینه کمتر است که برای آب‌های کم عمق‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد، همچنین می‌تواند به‌عنوان یک سکو بهره‌برداری و تاسیساتی برای اکتشافات آب‌های عمیق استفاده شود. نخستین سکو پایه کششی کوچک در سال ۱۹۹۸ در خلیج مکزیک نصب شد.

- امکان استفاده از تجهیزات سرچاهی (dry trees) روی سطح آب
- دسترسی به چاه‌ها به صورت عمودی
- پشتیبانی از چاه‌های دوردست
- امکان حفاری و انجام فعالیت‌های مرتبط روی سکو
- پشتیبانی از رایزرهای تحت کشش در آب‌های بسیار عمیق
- سیستم مهاربندی جانبی اکتیو می‌تواند حفاری از چاه‌های بزرگ را ممکن سازد.[۹]
- رفتار دینامیکی مطلوب در مقایسه با سایر سیستم‌ها
- پایداری (مرکز شناوری بالاتر از مرکز جرم است)
- عدم حساسیت هزینه به عمق آب
- قابلیت استفاده در اعماق زیاد (بیش از ۳۰۰۰ متر)[۳]

### معایب سکوی اسپار

- حساسیت به امواج با پریود 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 بلوک‌های بالاست جامد دائمی (keel tank) و یک رابط سازه ای بین این دو است. این رابط می‌تواند به شکل یک خرپا (برای اسپارهای خرپایی) یا یک سیلندر دایره‌ای 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 می‌برد. انتقال از روی اسکله به درون آب، انتقال، قائم کردن سکو در محل، 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 بهره‌برداری جلوگیری به عمل 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 و به وسیله آب بالاست در جهت عمودی پایین برده می‌شود. این سکو در قسمت بالا دارای یک نوع سکوی ثابت (عرشه به همراه تجهیزات حفاری و بهره‌برداری)، سه نوع رایزر (بهره‌برداری، حفاری و انتقال) و یک بدنه که به وسیله سیستم کاتنری کشیده شده محکم به کف دریا مهار شده‌اند. قسمت تحتانی این سکو با ماده‌ای سنگین‌تر از آب پر شده تا مرکز ثقل را پایین کشیده و پایداری سکو را بالا ببرد. خطوط مهاربندی این سکو‌ها به صورت زنجیر-کابل-زنجیر یا زنجیر-پلی استر-زنجیر است.

### ۲-۳-۲- سکوی اسپار خرپایی

(Truss Spar Platform)

سکوی اسپار خرپایی از یک مخزن استوانه‌ای (که کوتاه‌تر از استوانه اسپارهای کلاسیک است) تشکیل شده است. یک سازه خرپایی به زیر این استوانه متصل شده و 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 است. بیشتر اسپارهای مورد استفاده، از این نوع هستند.

### ۲-۳-۳- سکوی اسپار سلولی

(Spar Platform Cell)

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 دمپینگ سازه و پایین آوردن مرکز ثقل را برعهده دارد. در دنیا تنها یک سکوی اسپار

سلولی ساخته و به آب‌اندازی 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. هرچند مونتاژ بدنه شامل هندسه‌ها و تقویت‌کننده‌های نسبتاً پیچیده (مانند احجام fair، بلوک‌های دوجداره و غیره) است، 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 برای تحویل این شناورها، یک فرآیند با ریسک و قیمت پایین محسوب می‌شود. وقتی سیستم انتقال نفت به وسیله تانکر از محل تولید به عنوان 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 کند. FPSOها در مناطق دوردست یا آب‌های عمیق که لوله‌گذاری در دریا به صرفه نیست، بسیار مفید واقع می‌شوند. این شناورها نیاز به لوله‌کشی پرهزینه از محل تولید تا پایانه نفتی ساحلی یا نزدیک ساحلی را برطرف می‌کنند و می‌توانند گزینه مناسبی برای حوزه‌هایی نفتی باشند که پس از چند سال رو به ضعف گذاشته و لوله‌کشی‌های هزینه‌بر زیر دریا برای این حوزه‌ها توجیه اقتصادی ندارد.

FPSOها به منظور دریافت نفت از سکو‌ها یا ایستگاه‌های زیردریایی نزدیک و سپس انجام فرآوری‌های اولیه روی آن و همچنین ذخیره آن به کار 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 راه‌اندازی این شناورها در محل مربوط آسان بوده و در حضور این شناورها نیاز به خطوط لوله‌کشی برای انتقال نفت نیست، استفاده از اینها در مناطق فراساحلی دوردست ارجحیت دارد. این

شناورها را می‌توان با تغییر کاربری یک تانکر یا به طور مستقل به صورت یک سازه 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 است. مساحت زیاد دک فضای زیادی را برای تجهیزات و واحدهای ایمن و قابل تعمیر جهت عملیات فرآوری ایجاد می‌کند. 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 است که برای پشتیبانی dry trees در کاربردهای معمول بیش از اندازه است. 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- روش‌شناسی انجام مطالعه مقایسه‌ای

در علم تصمیم‌گیری که در آن انتخاب یک راهکار از بین راهکارهای موجود یا اولویت‌بندی راهکارها مطرح است، چند سالی است که روش‌های تصمیم‌گیری با شاخص‌های چندگانه «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. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم‌گیری روبه‌رو است، می‌تواند استفاده شود. معیارهای مطرح شده می‌توانند کمی و کیفی باشند.

اساس این روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی نهفته است. تصمیم‌گیرنده با فرآهم

آوردن درخت سلسله مراتبی تصمیم‌گیری 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 جهت گزینه‌های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم نشان می‌دهد. در نهایت منطق 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 توجه به اینکه هدف انتخاب بهترین سکوی با توجه به معیارهای موجود است، منطقی به نظر می‌رسد که از این روش استفاده شود. برای استفاده از این روش ابتدا معیارهای مهم جهت انتخاب سکوی با مشورت خبرگان تعیین شده که به شرح زیر هستند:

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

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

۳-۳- ظرفیت ذخیره‌سازی مواد هیدروکربوری: یکی از فاکتورهای مورد توجه در انتخاب سکوی است که متناسب با موقعیت نصب سکوی و نحوه ارتباط آن با حامل‌های مواد هیدروکربوری متغیر است. برای مثال هرچه امکان مراجعه زود هنگام نفتکش‌ها به سکوی 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: این موضوع به لحاظ عملکرد تجهیزات و نفرات مستقر روی سکوی اهمیت دارد. به‌عنوان مثال در آب‌های عمیق طبق آیین‌نامه دامنه حرکات سکوی نباید از ۷ درصد عمق آب بیشتر باشد و همچنین شتاب زیاد حرکات می‌تواند در عملکرد ماشین آلات روی سکوی مشکل ایجاد کند، بنابراین عملکرد سکوها در شرایط محیطی منطقه نفتی یا گازی مورد توجه است.

۳-۵- هزینه سیستم مهار: این امر می‌تواند یکی از مسائل موثر در انتخاب سیستم مهار باشد. جنس خطوط مهار و ماکزیمم کشش قابل تحمل توسط خط مهار از مسائلی هستند که روی قیمت خطوط مهار و در نهایت هزینه نهایی سکوی موثرند.

۳-۶- سهولت نصب و جمع‌آوری سیستم مهار: این امر نیز فاکتور مهمی است که به دلیل موقتی بودن نصب سکوها اسپار و سکوها نیمه‌شناور مورد توجه قرار می‌گیرند. حتی ممکن است در یک سال یک سکوی چندین بار جابه‌جا 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 سکوی: این مهم از مسائل مهمی است که آن نیز بیشتر به دلیل موقتی بودن استقرار سکوی اهمیت پیدا می‌کند. خود رانش 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: این امر مسئله‌ای است که امکان دارد برای برخی از سکوها مقدور نباشد. به‌عنوان مثال استفاده از سکوی جک‌آپ در عمق ۸۰۰ متری در حالی که امکان استفاده از سکوی نیمه‌شناور وجود دارد، توجیه پذیر نیست.

۳-۹- قابلیت استخراج از چندین چاه مختلف برای حوزه‌های هیدروکربوری: این امر که شامل چندین چاه می‌شوند، می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. قابلیت استفاده از یک یا تعداد معدودی سکوی برای استخراج از چندین

مواردی است که باید مورد توجه قرار گیرد، چراکه در صورت نداشتن تکنولوژی متناسب یک سکو نمی‌توان از آن در دریای خزر استفاده کرد 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 یک جدول شامل مقایسات زوجی معیارها تهیه شده که نمونه‌ای از آنها به شکلی که در جدول ۳ آمده است تهیه و به تعدادی از کارشناسان و خبرگان در سطح کشور ارسال شد. در این بین، پنج پرسشنامه تکمیل و برگشت داده شد.

مانند جرثقیل‌های ظرفیت بالا و همچنین نیاز کمتر به شناورهای خدماتی فراساحلی برای کارهای مختلف از این دسته هستند.

### ۳-۱۲- قابلیت فرآوری مواد

**هیدروکربوری:** این مورد نیز از قابلیت‌های ارزشمندی است که می‌تواند هزینه‌ی فرآوری محصولات را در خشکی 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:

مورد یاد شده نیز یکی از

چاه به جای استفاده از تعداد سکوهایی 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:

این امر نیز مسئله حائز اهمیتی است. امکان اسکان تمامی کارکنان سکو روی آن، نیاز به شناورها یا سکوهایی اسکان را مرتفع می‌کند.

### ۳-۱۱- سهولت تعمیرات و نگهداری

**سکو:** این امر 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

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							

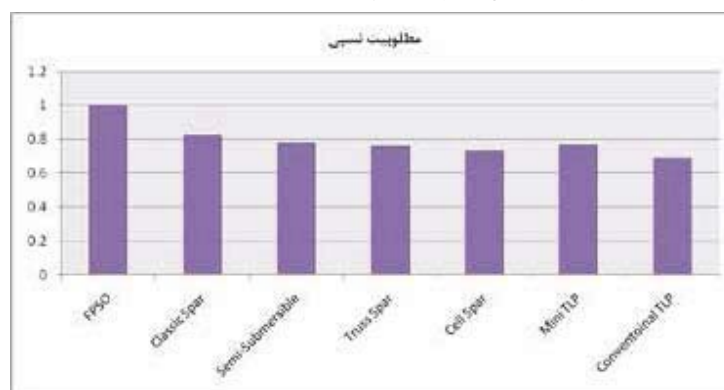
جدول ۴: شبکه داده‌ها

معیارها											وزن کل	سکوها	
میزان تناسب با تکنولوژی‌های موجود در ایران (۰،۱۲۳)	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 جمع‌آوری سیستم مهار (۰،۰۶۵)	هزینه سیستم مهار (۰،۰۴۳)	قابلیت اسکان متناسب (۰،۰۲۴)	دامنه حرکات و شتابها (۰،۱۵۲)	قابلیت فرآوری مواد هیدروکربوری (۰،۰۳۵)			ظرفیت ذخیره‌سازی مواد هیدروکربوری (۰،۰۶۱)
													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 است. در ستون‌های بعدی معیارهای مورد مطالعه و وزن اختصاصی به هر یک با توجه به امتیازدهی خبرگان و یکپارچه کردن 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 است.

در شکل زیر 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 به‌عنوان 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 به‌طور 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 درصد کارشناسان و متخصصان مربوطه در سطح کشور، به اجماع برسند و اصلاحات لازم صورت گیرد و دوباره تحلیل شود، سپس بر اساس نتایج حاصل، تصمیم‌گیری صورت گیرد.

## 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] گل‌افشانی، ع.ا.، سیف، م.س.، تابش‌پور، م.ر.، رحمانیان، آ.، «سازه‌های مناسب برای استخراج نفت از دریای خزر» چهارمین همایش ملی صنایع دریایی ایران، ۱۳۸۱

[۴] قدسی‌پور، سید حسن، «مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره»، انتشارات دانشگاه امیر کبیر، چاپ سوم، ۱۳۸۱.

[۵] بسته نرم‌افزاری Expert Choice

[۶] تابش‌پور، م.ر.، «تحلیل ارتعاشی سکوهای آب‌های عمیق»، زیر چاپ.

[۷] تابش‌پور، 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 ارون، شماره ۵۴.

[9] <http://www.houston-offshore.com/solutions/>

[10] Offshore Engineering 2004.

[11] [www.gomr.mms.gov](http://www.gomr.mms.gov)

۱- استاد دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شریف، مرکز پژوهشی مهندسی دریا؛

۲- استادیار دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی شریف، انجمن مهندسی دریایی ایران؛

قطب علمی هیدرودینامیک و دینامیک متحرک‌های دریایی

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، مرکز پژوهشی مهندسی دریا؛

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد، مرکز پژوهشی مهندسی دریا؛

۵- کارشناس ارشد، مرکز پژوهشی مهندسی دریا؛