به نام ایزد یکتا

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی عمران

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران- سازه‌های دریایی

بررسی اثر پارامترهای شکل هندسی، سیستم مهاربندی و اندرکنش‌های هیدرودینامیکی بر پاسخ‌های حرکتی سکوهای نیمه مستغرق

مهدی میرزایی

استاد راهنما:

دکتر مهدی شفیعی‌فر

اسفند ۸۷

تقدیم به فردوسی‌ها، خواجه نصیرالدین طوسی‌ها، خیام‌ها، شیخ‌بهائی‌ها، قائم مقام فراهانی‌ها، امیرکبیرها، مصدق‌ها، دهخداها و تمام کسانی که ایران، با اراده و همیت آنان ماندگار شد.

سپاس‌گزاری

با سپاس فراوان از راهنمایی‌ها وکمک‌های شایان تقدیر جناب آقای دکتر مهدی شفیعی‌فر در انجام این پایان‌نامه، و همچنین از همیاری و همفکری‌های آقایان؛ دکتر مجید سهراب‌پور (عضو سابق هیأت علمی دانشگاه صنعتی شریف)، دکتر *Clauss* و *Katja Stutz* (از دانشگاه صنعتی برلین)، مهندس مهدی عجمی، مهندس حمید گل‌پور، مهندس محمدرضا محرمی، مهندس مجتبی هادیان، مهندس سیامک مزدک، و خانم‌ها؛ مهندس زهرا تاج‌علی، مهندس بنفشه نادری، مهندس نیلوفر زرین‌آباد (از دانشگاه *Kings College London*)، و با ارج نهادن بر حمایت‌های اساتید محترم و گرانقدر گروه‌های سازه، سازه‌های دریایی و هیدرولیکی دانشکدهٔ فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس؛ آقایان دکتر علی‌اکبر آقاکوچک، دکتر محمدتقی احمدی و دکتر احمد شانه‌ساز زاده، بدینوسیله از تمامی آنها کمال تشکر و قدرانی به عمل می‌آید.

چکیده

در این تحقیق برخی از پارامترهای شکل بدنه و سیستم مهاربندی که بطور مستقیم و یا غیر مستقیم بر رفتارهای حرکتی سکوهای نیمه مستغرق اثرگذار هستند مورد بررسی قرار گرفته‌اند.
هدف از این پژوهش یافتن علت تغییرات ایجاد شده در رفتارهای حرکتی به دنبال وقوع تغییراتی در هندسهٔ سکو و خصوصیات سیستم مهاربندی می‌باشد. اساس این تحقیق بر مقایسه استوار است. لذا همانند هر مقایسه‌ای، معیاری برای همگون بودن (هم دسته بودن) مورد نیاز است تا بتوان اساساً دو نمونه را با یکدیگر مورد قیاس قرار داد. در این تحقیق روشی غیر از ثابت نگاه داشتن حجم بخش مستغرق سکو برای انجام مقایسات در مورد شکل هندسی مورد استفاده قرار گرفته است، و آن پیروی از الگوریتمی واحد برای ساخت مدلهائی است که در تمام ابعادشان با هم متفاوت هستند. در واقع معیار هم دسته بودن مدلهای مورد بررسی گذار از مسیری واحد برای طراحی هندسی آنان می‌باشد.
پس از بررسی تغییرات رفتارهای حرکتی سکو به دنبال تغییر در ابعاد و خواص اثرگذار بر پایداری و پاسخ‌ها، روندهای منظمی در پاسخ‌ها قابل ملاحظه است. بطوری که می‌توان با در کنار هم قرار دادن روند تغییرات ایجاد شده در پاسخ‌ها و هندسهٔ سازه، به نتیجه‌گیری‌های قابل تعمیمی دست یافت.
آثار ناشی از تغییر پیش‌کشیدگی خطوط مهار، و همچنین مقایسهٔ چند الگوی مهاربندی از نقطه نظر کارآئی در مواجه با نیروهای محیطی با جهات متغیر، اساس بررسی‌ها در زمینهٔ سیستمهای مهاربندی را تشکیل می‌دهند.

واژگان کلیدی: سکوی نیمه مستغرق، شکل هندسی بدنه، پایداری هیدرواستاتیکی، پیش‌کشیدگی خطوط مهار، الگوی مهاربندی، پاسخ‌های حرکتی

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

فصل ۱- کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- مقدمه‌ای بر سکوهای آب عمیق ۳

۱-۳- سکوهای نیمه مستغرق (*Semi-submersible Platforms*) ۵

۱-٤- مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه‌های مرتبط با موضوع این تحقیق ۷

۱-۵- هدف از انجام تحقیق حاضر ۹

۱-٦- روش تحقیق ۱۰

فصل ۲- مبانی و تئوری‌های حاکم ۱۲

۲-۱- مقدمه ۱۳

۲-۲- حرکات سازه در شش درجهٔ آزادی ۱۳

۲-۲-۱- دستگاه مختصات انتقال یکنواخت $O(x,y,z)$ ۱۳

۲-۳- هیدرواستاتیک ۱۵

۲-٤- نیروهای محیطی ۱۷

۲-٤-۱- نیروی امواج ۱۸

۲-٤-۱-۱- تئوری تفرق ۱۹

۲-٤-۲- نیروی جریان ۲۲

۲-۵- تحلیل دینامیکی سکوهای شناور ۲۲

۲-۵-۱- تحلیل در حوزهٔ فرکانس ۲۵

۲-۵-۱-۱- تحلیل طیفی ۲٦

۲-۵-۱-۲- پریودهای مهم در منحنی *RAO* حرکت *Heave* ۲۷

۲-۵-۲- تحلیل در حوزهٔ زمان ۲۷

۲-٦- حرکات یک سکوی مهار شده ۲۸

۲-۷- تحلیل سیستم مهاربندی ۲۹

فصل ۳- استفاده از نرم‌افزار *MOSES* در تحلیل‌های هیدرودینامیکی ۳۲

۳-۱- مقدمه ۳۳

۳-۲- صحت‌سنجی نتایج حاصل از *MOSES* ۳۸

۳-۲-۱- پانتون شناور ۳۸

۳-۲-۲- سکوی نیمه مستغرق ٤٠
فصل ٤- بررسی شکل بدنه ٤٣
٤-١- مقدمه ٤٤
٤-٢- اثر شکل هندسی ستونها در پاسخ‌های حرکتی ٤٤
٤-٢-١- پاسخ *Heave* ٤٧
٤-٢-٢- پاسخ *Roll* ٥٠
٤-٢-٣ پاسخ *Pitch* ٥٢
٤-٢-٤- بحث و بررسی نتایج ٥٥
٤-٣- بررسی خصوصیات هندسی مؤثر بر پایداری و پاسخ‌های حرکتی ٥٦
٤-٣-١- طراحی هندسی مدلها ٥٧
٤-٣-٢- طول و عرض کلی سازه ٦٩
٤-٣-٣- ابعاد و شکل هندسی پانتونها ٦٩
٤-٣-٤- ابعاد و شکل هندسی مقطع ستونها ٧٠
٤-٣-٥- فاصلهٔ بین ستونها ٧١
٤-٣-٦- توزیع جرمها ٧١
٤-٣-٧- توازن (*Ballast*) ٧٢
٤-٣-٨- ارتفاع عرشه نسبت به تراز ایستابی ٧٣
٤-٣-٩- ارتفاع متاسنتریک ٧٣
٤-٣-١٠- بحث و بررسی کلی با در نظر گرفتن پاسخ‌های حرکتی ٧٤
٤-٣-١٠-١- بررسی روند تغییرات پاسخ *Heave* با در نظر گرفتن اثر پارامترهای هندسی ٧٨
٤-٣-١٠-٢- بررسی روند تغییرات پاسخ *Pitch* با در نظر گرفتن اثر پارامترهای هندسی ٧٩
٤-٣-١٠-٣- بررسی روند تغییرات پاسخ *Surge* با در نظر گرفتن اثر پارامترهای هندسی ٨٠
فصل ٥- بررسی سیستم مهاربندی ٨٢
٥-١- مقدمه ٨٣
٥-٢- اثر پیش‌کشیدگی بر پاسخ‌های سکو ٨٣
٥-٣- بررسی الگوهای مهاربندی ٨ خطی ٨٧
فصل ٦- نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای ادامهٔ کار ٩١
٦-١- مقدمه ٩٢
٦-٢- نتایج تحقیق ٩٣
٦-٢-١- اثر پارامترهای شکل هندسی ٩٣

٦-٢-٢- اثر پارامترهای سیستم مهاربندی ٩٣
٦-٣- پیشنهاد برای ادامهٔ تحقیقات در زمینه‌های مرتبط ٩٤
فصل ٧- مراجع ٩٦

فهرست شکل‌ها

عنوان ..... صفحه
شکل ۱-۱ برخی از سکوهای فراساحل دریایی به همراه محدودهٔ کاربری آنها ٤
شکل ۱-۲ برخی از سکوهای آب عمیق ٤
شکل ۱-۳ انتخاب نوع مناسب سکو بر حسب عمق آب محل و بزرگی میدان ٥
شکل ۱-٤ نمایی از یک سکوی نیمه‌مستغرق ٦
شکل ۲-۱ دستگاه‌های مختصات ١٤
شکل ۲-۲ تعریف حرکات سکو در شش درجهٔ آزادی ١٤
شکل ۲-۳ تعریف مرکزها و نیروها *[19]* ١٥
شکل ۲-٤ مجموع چندین موج سینوسی یک موج نامنظم را تشکیل می‌دهد *[19]* ١٩
شکل ۲-٥ ضریب جرم هیدرودینامیکی (افزوده) اعضاء با مقاطع گوناگون ٢٤
شکل ۲-٦ فلوچارت مراحل مختلف در تحلیل سیستم‌های مهاربندی ٣٠
شکل ۳-۱ خلاصه‌ای از مراحل مختلف در تحلیل‌های هیدرودینامیکی صورت گرفته بوسیلهٔ *MOSES* ٣٥
شکل ۳-۲ خصوصیات خطوط مهار در *MOSES* ٣٦
شکل ۳-۳ زوایای تابش نیروهای محیطی و دستگاه‌های مختصات متصل به زمین و شناور ٣٧
شکل ۳-٤ پانتون شناور مورد بررسی ٣٨
شکل ۳-٥ مقایسه منحنی *RAO* حرکت *Heave* پانتون در *MOSES* و *SESAM* ٣٩
شکل ۳-٦ مقایسه منحنی *RAO* حرکت *Roll* پانتون در *MOSES* و *SESAM* ٣٩
شکل ۳-۷ مقایسه منحنی *RAO* حرکت *Pitch* پانتون در *MOSES* و *SESAM* ٤٠
شکل ۳-۸ مشخصات سکوی مورد بررسی ٤١
شکل ۳-۹ منحنی *RAO* حرکت *Heave* بر گرفته از *[14]* ٤١
شکل ۳-۱۰ منحنی *RAO* حرکت *Heave* حاصل از *MOSES* ٤٢
شکل ٤-۱ ابعاد سکوی *GVA 4000* (مدل مبنا- ابعاد به *mm*)- *[13]* ٤٥
شکل ٤-۲ شکل مقطع ستونها در مدلهای مختلف ٤٥
شکل ٤-۳ شکل هندسی بدنهٔ مدلهای مختلف مورد بررسی ٤٧
شکل ٤-٤ مقایسهٔ منحنی *RAO* پاسخ *Heave* مدلهای ۱ تا ٤- *Heading=0* ٤٨
شکل ٤-٥ مقایسهٔ منحنی *RAO* پاسخ *Heave* مدلهای ۱ تا ٤- *Heading=90* ٤٨
شکل ٤-٦ طیفهای چگالی انرژی موج و پاسخ *Heave* مدلهای ۱ تا ٤ در زاویهٔ تابش موج ۰ درجه ٤٩
شکل ٤-۷ طیفهای چگالی انرژی موج و پاسخ *Heave* مدلهای ۱ تا ٤ در زاویهٔ تابش موج *90* ٤٩

شکل ٤-٨ منحنی‌های *RAO* مربوط به حرکت *Roll* مدل‌های ۱ تا ٤ ..... ٥١
شکل ٤-٩ طیفهای مربوط به چگالی انرژی موج و پاسخ *Roll* مدلهای ۱ تا ٤ ..... ٥٢
شکل ٤-١٠ منحنی‌های *RAO* مربوط به حرکت *Pitch* مدل‌های ۱ تا ٤ ..... ٥٣
شکل ٤-١١ طیفهای مربوط به چگالی انرژی موج و پاسخ *Pitch* مدلهای ۱ تا ٤ ..... ٥٤
شکل ٤-١٢ مراحل و قیدهای بکار رفته در ساخت مدلها توسط برنامهٔ طراحی شکل هندسی ٥٨
شکل ٤-١٣ متغیرهای بکار رفته در طراحی هندسهٔ مدلها ٥٩
شکل ٤-١٤ شکل هندسی بدنهٔ سکوهای دستهٔ ششم (*GM=2.0*) ٦٨
شکل ٤-١٥ منحنی‌های *RAO* حرکات *Heave*، *Pitch* و *Surge* مدلهای دستهٔ اول (*GM=1.0*) ٧٥
شکل ٥-١ نحوهٔ قرارگیری خطوط در پلان مهارندی به همراه نماهای جانبی و ایزومتریک ٨٤
شکل ٥-٢ تغییر مکان سازه در راستای محور x با پیش‌کشیدگی‌های مختلف ٨٥
شکل ٥-٣ الگوهای متقارن مهاربندی با ٨ خط ٨٨

فهرست جدول‌ها

عنوان ..... صفحه
جدول ۲-۱ مقدار لازم برای *GM* سکوهای نیمه مستغرق در شرایط مختلف *[20]* ۱۷
جدول ۳-۱ مشخصات هندسی پانتون ۳۸
جدول ٤-۱ مدلهای مورد استفاده در بررسی اثر ستونها ٤٤
جدول ٤-۲ محدوده‌های مجاز کارآیی و کاربری سکوهای نیمه مستغرق ٤٦
جدول ٤-۳ پاسخ حداکثر *Heave* مدلهای ۱ تا ٤ ..... ۵۰
جدول ٤-٤ پاسخ حداکثر *Roll* مدلهای ۱ تا ٤ ..... ۵۲
جدول ٤-۵ ممان اینرسی صفحهٔ سطح آب نسبت به محور y در مدل‌های ۱ تا ٤ ..... ۵۳
جدول ٤-٦ پاسخ حداکثر *Pitch* مدلهای ۱ تا ٤ ..... ۵٤
جدول ٤-۷ مشخصات مدلهای دستهٔ اول (*GM=1.0*)- تن، متر ٦۱
جدول ٤-۸ مشخصات مدلهای دستهٔ دوم (*GM=1.2*)- تن، متر ٦۲
جدول ٤-۹ مشخصات مدلهای دستهٔ سوم (*GM=1.4*)- تن، متر ٦۳
جدول ٤-۱۰ مشخصات مدلهای دستهٔ چهارم (*GM=1.6*)- تن، متر ٦٤
جدول ٤-۱۱ مشخصات مدلهای دستهٔ پنجم (*GM=1.8*)- تن، متر ٦۵
جدول ٤-۱۲ مشخصات مدلهای دستهٔ ششم (*GM=2.0*)- تن، متر ٦٦
جدول ٤-۱۳ مقایسهٔ روند تغییرات پریودهای پیک و خنثی شدگی در *RAO* حرکت *Heave* مدلهای مختلف با توجه به قطر ستونها و سهم پانتونها در شناوری ۷٦
جدول ٤-۱٤ پاسخ‌های حداکثر مدلهای مختلف با توجه به قطر ستونها و سهم پانتونها در شناوری ۷۷
جدول ۵-۱ مشخصات خطوط مهاربندی بندی در الگوی متقارن ۸ خطی ۸٤
جدول ۵-۲ حالت‌های مختلف در مسئلهٔ بررسی اثر پیش‌کشیدگی ۸۵
جدول ۵-۳ حداکثر جابجائی در درجهٔ آزادی *Surge* ۸٦
جدول ۵-٤ حداکثر جابجائی در درجهٔ آزادی *Heave* ۸۷
جدول ۵-۵ پاسخ *Surge* و *Sway* با در نظر گرفتن الگوهای مختلف (متر) ۸۹

فصل ۱

کلیات

۱-۱- مقدمه

تلاش برای استخراج سوخت‌های فسیلی از اعماق زمین به اواخر قرن نوزدهم باز می‌گـردد. صـنعت استخراج نفت و گاز از دریا با حفاری در فاصلهٔ چند متری ساحل توسط حفارهایی با پایه‌های چوبی و بصورت کاملا ابتدائی و سنتی آغاز گردید. در کالیفرنیا، چاه‌های نفت از روی اسکله‌های متصل بـه ساحل و به فاصلهٔ حدود ۵۰۰ متری از ساحل حفر گردیدند. در فاصـلهٔ حـدود ۷ دهـه ایـن صـنعت چنان پیشرفت و توسعه یافته است که بزرگترین، پیچیده‌تـرین و حجـیم‌تـرین سـازه‌هـا و تأسیـسات محصول دست بشر تا به امروز (از لحاظ طراحی، ساخت، جابجـائی و نـصب) در ایـن قلمـرو قـرار گرفته است. اولین سکوی فولادی در سال ۱۹٤۷ در عمق حدود ٤/۳ متری احداث گردید. به تـدریج و با پیشرفت صنایع فولادی و نیز سکوسازی، امکان استفاده از سکوهای دریایی در عمق‌هـای بیـشتر فراهم گردید و در سال ۱۹۷٦ یک سـکو از نـوع شـابلونی در عمـق ۳۰۰ متـری در آب‌هـای خلـیج مکزیک نصب گردید.

صنعت و فعالیتهای فراساحل اعم از اکتشاف، حفاری، استخراج، فرآوری و انتقال نفت و گـاز بـدلیل نیاز روزافزون به مواد و مشتقات هیدروکربنی در حال توسعه و گسترش است. بـرای پاسـخ بـه ایـن تقاضای روزافزون جهانی، صنعت نفت و گاز فراساحل اسـتراتژی ورود و پیـشروی در آبهـای فـوق عمیق اقیانوسها را، که طبعاً شرایط محیطی و کاری سهمگین‌تر و خشن‌تـری را بـدنبال دارنـد، پـیش گرفته است.

بکارگیری عملی اولین سکوی شناور نقطه عطفی در توسعه و پیشرفت فنـاوری دور از سـاحل بـود. این امر منجر به قابل دسترس گشتن دو سوم سطح زمین و همچنـین قابـل بهـره بـردار ی شـدن منـابع اقیانوس گردید. اکتشاف، بهره برداری و تولید طی سالها ادامـه یافـت و در حـال حاضـر بـا جـستجوی هیدروکربنها و دیگر منابع معدنی دنبال می گردد. اغلب مخازن هید روکربنی فراسـاحلی زیـر صـفحات قاره ای و در شیب به سمت پائین این صفحات تا بستر اقیانوسهای عمیق واقع هستند. اگر چـه قـسمت عمده مخازن هیدروکر بنی فراساحلی حاصل گستر ش صـفحات قـار ه ای در آبهـای نـسبتاً کـم عمـق می‌باشد، ولی با کـاهش اکتـشافات در حـوزه هـای قـدیمی گـرایش فزاینـد ه ای جهـت کـشف منـابع هیدروکربنی در آبهای عمیق وجود دارد. بطوریکه اکتشافات آتی مخازن قاره ای تا عمـق ۳۰۰۰ متـری ممکن است مورد انتظار باشد که سبب ایجاد چـشم‌انـدازی جهـت جـستجوی نفـت در آبهـای عمیـق می‌گردد. در بخش‌های آتی به لزوم و مزایای استفاده از شـکوهای شـناور، از جملـه سـکوهای نیمـه مستغرق در اعماق زیاد جهت عملیات اکتشاف حفاری و استخراج اشاره خواهد شد.

از دیدگاه ملی نیز نیاز روزافزون به مواد هیدروکربنی در عرصه‌های مختلف تولید و توسعهٔ ملی، ایران را به صحنهٔ رقابت شدیدی در زمینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری از میادین نفت و گاز در شمال و جنوب کشور مبدل ساخته است. بطوریکه پس از حفر اولین چاه نفت خاورمیانه در ایران، صنعت استخراج نفت در ایران نیز از پیشرفت قابل ملاحظه‌ای برخوردار بوده است. با گذشت سالهای مدید از ساخت سکوهای فراساحلی در خلیج فارس، با توجه به وضعیت آبهای خلیج که دارای عمق حداکثر حدود ۱۰۰ متر و عمق میانگین حدود ٤٠ متر می‌باشد، ونیز ظرفیت‌های بالای میادین کشف شده، در حال حاضر نیازی به استفاده از سکوهایی از قبیل نیمه مستغرق‌ها در این میادین دیده نمی‌شود. اگرچه در عمل ممکن است در سالهای نه چندان دور، با کاهش ذخیرهٔ این میادین، استفاده از سکوهای شناور، از جمله نیمه مستغرق‌ها برای استخراج از آنها مورد بررسی قرار گیرد.

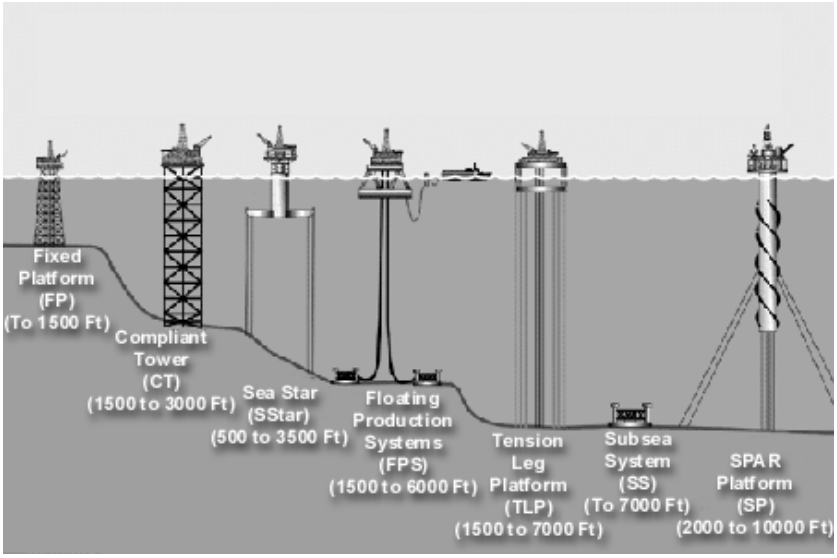
اما با توجه به نوپا بودن عرصهٔ فعالیتهای صنعت نفت و گاز در آبهای عمیق و فوق عمیق اقیانوسها به دلیل کاهش ذخایر سهل‌الوصول آبهای با عمق کمتر و با تأکید بر لزوم پیشروی در این آبها برای اکتشاف و استخراج منابع جدید، و نیز با در نظر گرفتن برنامه‌های توسعهٔ صنعت نفت و گاز کشورمان در دریای خزر و لزوم انجام و اجرای هر چه سریعتر و اقتصادی‌تر طرح‌ها در این منطقه، همزمان با فرآیند ساخت اولین سکوی نیمه مستغرق در آبهای شمال ایران، در این تحقیق، سکوی نیمه‌مستغرق، به عنوان یکی از مناسب‌ترین و بهترین گزینه‌ها برای حوزه‌هایی مانند این، بعنوان ابزار انجام فعالیتهای مختلف اکتشاف، حفاری، استخراج و تولید مورد توجه قرار گرفته است.

در این راستا برای پیشبرد یکی از خطوط با سابقهٔ تحقیقاتی در دانشکدهٔ فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، تحقیق حاضر به بررسی پارامترهای تأثیرگذار بر پاسخ‌های حرکتی سکوهای نیمه‌مستغرق می‌پردازد.

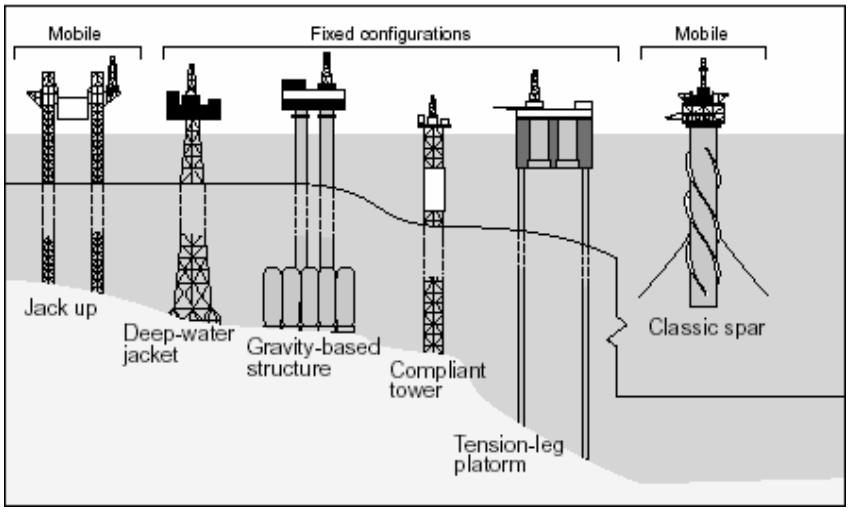
۱-۲- مقدمه‌ای بر سکوهای آب عمیق

همانطور که اشاره شد توسعه صنعت نفت و گاز فراساحل با استفاده از سکوهای ثابت آغاز گردید، ولی با گسترش روزافزون و اکتشاف نفت و گاز در آبهای عمیق‌تر استفاده از سکوهای شناور مرسوم گشت. طبیعت پیشرو و روزآمد جستجوی منابع هیدروکربنی در زیر اقیانوس منجر به پیدایش راه‌حلهای مهندسی مبتکرانه‌ای، گردیده است. رشد این صنعت و ایجاد توانائیهای زیاد در زمینه توسعه میادین فراساحل، سبب افزایش تعداد و تنوع سازه‌های شناور مورد استفاده در توسعه حوزه‌های نفتی در دهه‌های ۸۰ و ۹۰ گردید.

یکی از روشهای دسته‌بندی سکوها بر حسب عمق محل می‌باشد. بر این اساس در شکل ۱-۱ و شکل ۱-۲ برخی از انواع مهم سکوهای آب عمیق قابل مشاهده است.

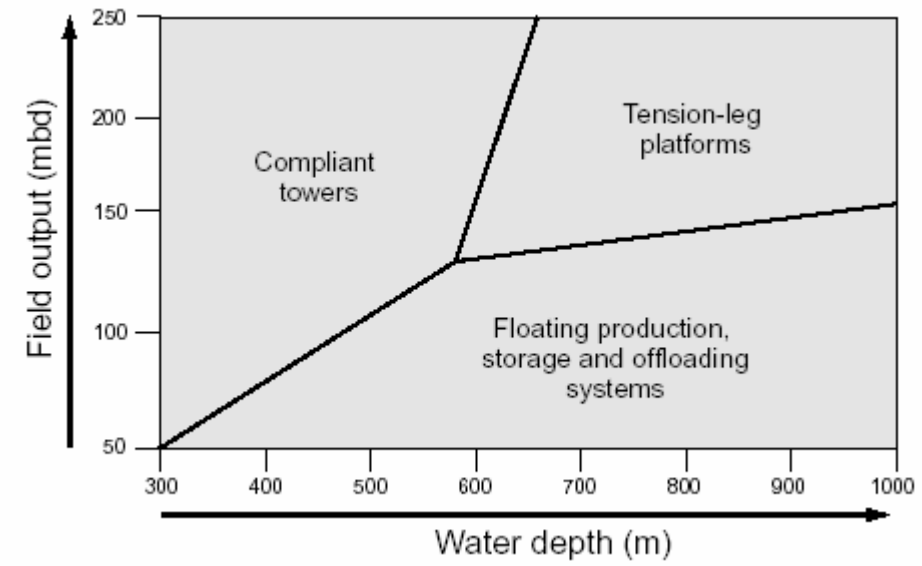


شکل ۱-۱ برخی از سکوهای فراساحل دریایی به همراه محدودهٔ کاربری آنها



شکل ۱-۲ برخی از سکوهای آب عمیق

شکل ۱-۳ محدوده‌هایی برای انتخاب سکوی مناسب برای بکارگیری در عمق آبهای مختلف را با توجه به ظرفیت میدان پیشنهاد می‌کند.



شکل ۱-۳ انتخاب نوع مناسب سکو بر حسب عمق آب محل و بزرگی میدان

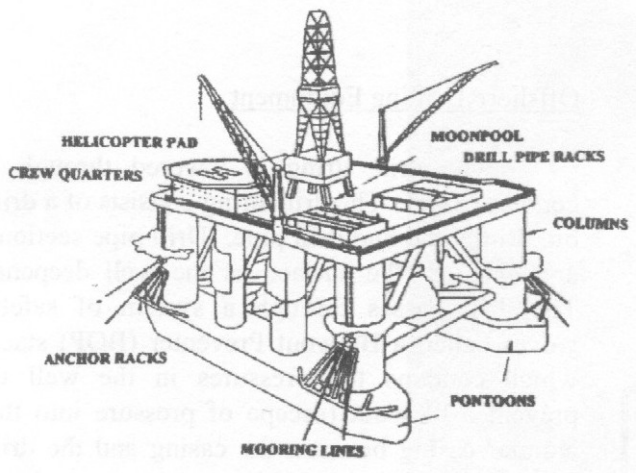
موضوعات قابل بحث در مورد مشخصات سکوهای آب عمیق بسیار است لیکن از آنجا که هدف این فصل تنها معرفی و آشنایی با سکوهای نیمه مستغرق بوده و قصد بسط مباحث در مورد سایر انواع را ندارد، و به منظور پرهیز از اطالهٔ بحث، به ذکر یک پیش‌زمینهٔ کلی از سکوهای فراساحل بسنده می‌شود. در ادامه، بحث اصلیِ معرفی این سکوها ارائه می‌شود.

۱-۳- سکوهای نیمه مستغرق (*Semi-submersible Platforms*)

سکوهای نیمه مستغرق از سازه‌های رایج و مورد استفاده در اکتشاف و تولید منابع هیدروکربن فراساحلی هستند. این سکوها اغلب دارای دو پانتون افقی مغروق می‌باشند که شناوری اصلی سکو را فراهم می‌کنند، ولی در هنگام تغییر محل با کم کردن آبخور مانند بدنه‌های کاتاماران عمل می‌نمایند. بطور معمول چهار تا هشت ستون عمودی بزرگ به این پانتونها متصل می‌باشند. این ستونها ممکن است دارای بادبندهای افقی یا مورب جهت ایجاد مقاومت سازه‌ای وصلبیت کافی برای سکو باشند. عرشه سکو بربالای ستونها قرار می‌گیرد، کمینه شدن سطح خط آب که به علت وجود ستونهای عمودی می‌باشد، موجب بالا رفتن پریودهای طبیعی درجات آزادی *Heave*، *Roll* و *Pitch* می‌گردد، و در نتیجه بارگذاری هیدرودینامیکی ناشی از امواج با پریودهای مشخص، با انتخاب دقیق حجم پانتون و سطح خط آب می تواند کمینه گردد. لازم به ذکر است که پریود طبیعی *Heave* از پارامترهای بسیار مهم واحدهای حفاری می‌باشد.

مشخصات مناسب سازه‌ای سبب داشتن سکویی عالی هم برای حفاری و هم برای بهره‌برداری تولیدی می‌گردد. اگرچه پیشرفت حاصل در زمینه کاهش پاسخ در مقایسه با سکوهای کشتی‌سان، به قیمت افزایش پیچیدگی سازه‌ای، حساسیت پایداری و آبخور شناور حاصل شده است. با توجه به این حساسیت و از آنجائیکه بیشتر سکوهای نیمه مستغرق به عنوان واحدهای حفاری طراحی می‌گردند، معمولاً دارای ظرفیت ذخیره نفت نمی‌باشند.

تثبیت موقعیت این سکوها اساساً بوسیله سیستمهای مهاربندی زنجیری یا طناب سیمی صورت می‌گیرد. برای بعضی از دکلهای حفاری نیز از پروانه‌های نوع تراسترهای آزیموت که قابلیت کاهش نیروهای وارد بر سیستم مهاربندی را داشته و به حمل و نقل سکو نیز کمک می‌کنند استفاده شده است. همچنین بعضی سکوهای نیمه مستغرق دارای سیستم تثبیت موقعیت دینامیکی با تراسترهای کنترل شونده توسط کامپیوتر هستند که به جابجایی یا شتاب سکو پاسخ می‌دهند .این نوع تثبیت موقعیت در آبهای عمیق‌تر که امکان غیرعملی بودن مهاربندی وجود دارد، بسیار مناسب و کارآمد می‌باشد. شکل ۱-٤ نمائی از یک سکوی نیمه مستغرق ۸ ستونی را نشان می‌دهد.



شکل ۱-٤ نمایی از یک سکوی نیمه‌مستغرق

برخی از مشخصات این نوع از سکوهای فراساحل به شرح زیر می‌باشند:

- عمق کارآیی: اعماق متوسط و عمیق در حدود: ۱۰۰۰ ~ ۱۰۰.

- مزیت‌ها: (۱) قابلیت جابجایی و حمل از نقطه‌ای به نقطه دیگر با سرعت حمل افقی زیاد (*Knot* ۱۰)، (۲) پایداری خوب و مناسب و حداقل تأثیرپذیری از اثرات امواج و جریان، (۳) فضای کاربری زیاد روی عرشه.

- معایب: (۱) هزینه‌های اولیهٔ زیاد، (۲) محدودیت در بارگذاری عرشه (به علت شناور بودن)، (۳) المان‌ها و اعضای سازه‌ای ممکن است شدیداً در معرض اثرات خستگی باشند، (٤) هزینهٔ گران و

زیاد جهت جابجایی‌ها با فواصل زیاد، (۵) محدودیت حوضچه‌های خشک موجود برای عملیات ساخت و ساز (٦) مشکلات ناشی از مهاربندی و مهار کردن صحیح لنگرها در زمینهای سخت و خشن.

۱-٤- مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه‌های مرتبط با موضوع این تحقیق

در اینجا به برخی از تحقیقاتی که به گونه‌ای در ارتباط با موضوع این تحقیق بوده‌اند بصورت ترتیب زمانی اشاره می‌شود. هدف از بیان عبارت «زمینه‌های مرتبط» در عنوان این بخش، تحقیقاتی است که یا بطور مستقیم در ارتباط با سکوهای نیمه مستغرق بوده‌اند و یا در آنها به بررسی سیستم مهاربندی بطور مستقل از نوع بدنهٔ شناور پرداخته شده است.

در سال ۱۹۷۰، *Hooft* به بررسی این حقیقت که فرکانس تشدید یک حرکت لزوماً منطبق بر فرکانس طبیعی آن حرکت نیست پرداخت، و یک مثال واضح را در این مورد برای یک نیمه‌مستغرق با ابعاد گوناگون در هندسهٔ قسمت زیر آب ارائه کرد. این هندسه طوری شکل یافته بود که تشدیدها در فرکانس طبیعی به حداقل برسند *[1]*.

Akagi و *Ito* در سال ۱۹۸٤ حرکات عمودی یک سکوی نیمه مستغرق را مورد بررسی قرار دادند، و با در نظر گرفتن قطرها و فاصله‌های المان‌های مختلف به عنوان متغیرهای بهینه‌سازی، طیف پاسخ بهینه‌ای برای سکو بدست آوردند *[2]*.

Fylling در سال ۱۹۸٦ به طراحی بهینهٔ سیستم‌های مهاربندی، رایزرها و سیستم‌های لنگرها در سکوهای شناور (در حالت کلی) به صورت جداگانه و یا در کنار هم پرداخته است. به عنوان نمونه وی با روشی مبتنی بر بدست آوردن نسبت مساوی میان ظرفیت نیروهای بازگردانندهٔ سیستم مهاربندی و نیروهای محیطی برای تمام جهت‌ها، یک روش محاسباتی برای بهینه‌یابی آرایش خطوط ارائه کرده است *[3]*.

Birk از ۱۹۹۰ با استفاده از شیوهٔ برنامه‌ریزی غیرخطی و با در نظر گرفتن شرایط محیطی دریا در حالت‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت و بکارگیری طیف‌های مختلف به بهینه‌یابی شکل سازه‌های فراساحل گوناگون مانند کشتی‌سان‌ها، بویه‌ها، سکوهای پایه کششی و سکوهای نیمه مستغرق پرداخته است (به عنوان نمونه *[4]*).

Kagemoto در سال ۱۹۹۲ مجموعه‌ای از ستون‌های استوانه‌ای شناور متوالی را تحت اثر امواج بررسی کرد. وی در پژوهش خود سه هدف عمدهٔ نیروی افقی کل، نیروی عمودی کل و نیروی رانشی

متوسط را مدنظر قرار داد و در نهایت طراحی بهینه‌ای از اندازه‌ها و فاصله‌های این ستون‌ها در یک طول موج ارائه داد *[5]*.

Ferrari و همکاران در ۱۹۹٤ به یک روش طراحی بهینهٔ مهاربندی سکوهای نیمه مستغرق دست یافتند. آنها زاویهٔ قرارگیری سکو نسبت به شرایط محیطی، الگوی مهاربندی و همچنین بهترین ترکیب خط‌های مهار از نظر جنس (زنجیر یا طناب سیمی) را به عنوان متغیر درنظر گرفتند و با تحلیل مهاربندی بصورت شبه‌استاتیکی و متعین به تحلیل سکو و بهینه‌سازی سیستم مهاربندی پرداخته‌اند و در نهایت راه‌کارهای عملی و همچنین نتایج تحقیقات را روی یک مدل ارائه کرده‌اند *[6]*.

Vasconcellos در سال ۱۹۹۷ یک برنامهٔ حامی تصمیم‌گیری[1] برای طراحی سکوهای شناور ارائه کرد. الگوریتم استفاده شده توسط وی، یکی از ارکان اصلی تحقیق حاضر می‌باشد *[7]*.

Loukogeorgaki و همکاران در سال ۲۰۰۵ اثر سختی خطوط مهار بر کارآئی موج‌شکنهای شناور را بررسی کردند. آنها با افزایش سختی خطوط مهار، بهبود پاسخ‌های کلی موج‌شکن شناور و همچنین افزایش فرکانس تشدید حرکات *Heave* و *Roll* را در سختی‌های بالاتر نشان دادند *[8]*.

Chakrabarti و همکارانش در سال ۲۰۰۷ طرح نوین پانتونهای خرپائی برای سکوهای نیمه مستغرق را ارائه کردند *[9]*.

Soylemez تحقیقات بسیاری را در زمینهٔ سکوهای نیمه مستغرق انجام داده است. وی بیشتر در کارهایش بر مدلسازی پاسخ‌های حرکتی این سکوها تمرکز داشته است (به عنوان نمونه *[10]*).

Clauss و همکارانش نیز تحقیقات بسیاری را در زمینهٔ پاسخ‌های حرکتی سکوهای نیمه‌مستغرق انجام داده‌اند (به عنوان نمونه *[11، 12، 13* و *14]*).

همچنین می‌توان به برخی از تحقیقات انجام شده در داخل کشور به شرح زیر اشاره کرد:

عجمی در ۱۳۸۲ با معیار زمان ازکارافتادگیِ کمینه برای شرایط مختلف بلندمدت دریا به بهینه‌سازی شکل هندسی بدنه سکوهای نیمه مستغرق با استفاده از الگوریتم وراثتی پرداخته است. در این پژوهش که فقط بدنهٔ سکو بدون وجود خطوط مهاری بررسی شده، برای تحلیل‌های هیدرودینامیکی سکو از نرم‌افزارهای *Semisim* و *Moses* استفاده شده است [۱۵].

رضوانی در ۱۳۸٤ با هدف کاهش پاسخ‌های افقی سکو، بهینه‌سازی سیستم مهاربندی یک سکوی شناور را مدنظر قرار داده است. در تحلیل سیستم مهاربندی که با استفاده از نرم‌افزار *Mimosa* از بسته‌ی نرم‌افزاری *SESAM* انجام شده، سازهٔ شناور مدل نشده است و اطلاعات هیدرودینامیکی مورد نیاز سازه ثابت و از پیش معرفی شده‌اند، [۱٦] و *[17]*.

1. Decision support system

گل‌پور در ۱۳۸۷ به بهینه‌سازی فرم بدنه و سیستم مهاربندی سکوهای نیمه مستغرق در کنار یکدیگر پرداخته است. هدف این بهینه‌سازی کمینه کردن پاسخ‌های حرکتی سکو بوده، و در آن بررسی حساسیت پاسخ‌ها به شکل مقطع ستونها و پانتونها نیز مد نظر قرار گرفته است [۱۸].

۱-۵- هدف از انجام تحقیق حاضر

تحقیق حاضر در ادامه و راستای تحقیقات مفصلی که پیش از این در دانشگاه تربیت مدرس در مورد جنبه‌های مختلف سکوهای نیمه مستغرق صورت پذیرفته‌اند، هدف گذاری شده است. بطوریکه می‌توان آنرا متقارن با دورهٔ بلوغ این خط تحقیقاتی در این دانشگاه به حساب آورد.

پیش از این، در این تحقیقات، بهینه‌سازی بدنه و سیستم مهاربندی در دستور کار بوده است. این بهینه‌سازیها با استفاده از ابزارهای قدرتمندی همچون الگوریتم ژنتیک و نرم‌افزارهای متنوعی برای تحلیل‌های هیدرودینامیکی صورت پذیرفته‌اند و در آنها بدلیل استفاده از روش‌های بهینه‌سازی که ماهیتاً همانند یک جعبهٔ سیاه، پس از دریافت ورودی‌ها خروجی‌های مطلوب را بدون نشان دادن روند فعل و انفعالات به کاربر بازمی‌گردانند، مشاهدهٔ اثر پارامترهای کلیدی بصورت روشن در هنگام ایجاد تغییرات در سیستم غیر ممکن بوده است.

پیش از این در تحقیقات قبلی فرم بدنه برای کاستن از میزان پاسخ‌ها بهینه‌سازی شده است. اما آیا می‌توان گفت سکوئی که فرم آن برای بهبود پاسخ‌های حرکتی بهینه‌سازی شده است، تمام احتیاجات دیگر از جمله تأمین پایداری شناور در حالات مختلف را برآورده می‌سازد؟ در واقع سیستم‌های بهینه‌سازی به گونه‌ای که تا به اینجا طراحی شده‌اند در نوع خود بسیار ارزشمند و کارآمد هستند، اما در مورد جامعیت آنها باید تحقیقات بیشتری صورت پذیرد تا بتوان با افزودن قیود دیگری به تکامل آنها برای بوجود آوردن یک سیستم جامع و مؤثر کمک کرد. به همین دلیل در این تحقیق سعی شده است، با نمایان ساختن نقش تمام یا لااقل بخش عمده‌ای از پارامترهائی که در کارآمدی سکوهای نیمه مستغرق از جمیع جهات دخیل هستند، روند تکاملی الگوریتم‌های بهینه‌سازی را تسریع نمود.

در این تحقیق با در نظر گرفتن پارامترهائی که هر یک به تنهائی می‌توانند در نهایت تأثیر قابل توجهی در پاسخ‌های حرکتی داشته باشند، سعی می‌شود با استفاده از مدل‌های متنوع که در هر کدام از آنها قیود کلی و یکسان، به انتخاب مقادیر مختلفی برای این پارامترها انجامیده است، روند تغییر پاسخ‌ها در ازای تغییرات ایجاد شده در پارامترهای مختلف تعیین گردد. بطوریکه بتوان به روشنی به درکی جامع نسبت به خصوصیات جزئی این سکوها دست یافت، و به تبع آن بتوان به قیود جامع‌تری برای تصمیم‌گیری در مورد طراحی این سکوها رسید.