

ارزیابی عملکرد فنی و اجرایی سیستم کیسون ته‌باز دریایی در احداث سازه‌های دریایی (مطالعه موردی: اسکله نفتی قشم)

مقاله علمی-پژوهشی

*سیده معصومه صدیقی (نویسنده مسئول)، استادیار، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

رسول توکلی، مدیر اجرایی طرح ابدایی دریایی، تهران، ایران

مونا مقدم، کارشناس پژوهشی، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: S.Sadaghi@bhrc.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۳۰ - پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۵

صفحه ۱۹۶-۱۸۳

چکیده

استفاده از کیسون‌های ته‌باز یکی از روش‌های شناخته‌شده در احداث سازه‌های دریایی از جمله اسکله‌ها، موج‌شکن‌ها، دیوارهای ساحلی و سازه‌های فراساحلی است. سیستم کیسون‌های ته‌باز دریایی، توسعه‌یافته در ایران، روشی مبتنی بر ترکیب کیسون‌های ته‌باز و دیواره‌های میانی است که با هدف کاهش عملیات دریایی، تسهیل اجرا و افزایش دوام سازه توسعه یافته است. این سیستم قابلیت کاربرد در احداث دیوارهای ساحلی، موج‌شکن‌ها، اسکله‌ها، سکوها، دلفین‌ها و سایر سازه‌های دریایی را داراست. شرکت دریایی در سال ۱۳۶۹، با ابتکاراتی نوین، اسکله نفتی قشم را با استفاده از این کیسون‌ها طراحی و اجرا کرد. این اسکله، با گذشت بیش از سه دهه از زمان بهره‌برداری، همچنان به عنوان یک اسکله عملیاتی پابرجا و فعال است که می‌تواند نشان‌دهنده قابلیت کاربرد و دوام این رویکرد اجرایی در شرایط بهره‌برداری دریایی باشد. در این مقاله، تجربه طراحی و اجرای این سیستم در پروژه‌های دریایی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از مرور مستندات طراحی، اجرا و سوابق بهره‌برداری نشان می‌دهد که استفاده از این سیستم، به‌ویژه در پروژه‌هایی با محدودیت زمانی اجرا، حساسیت‌های محیط‌زیستی و نیاز به افزایش دوام سازه، می‌تواند به‌عنوان یکی از گزینه‌های قابل بررسی مطرح باشد. همچنین ویژگی‌هایی نظیر ساخت بخش عمده اجرا در خشکی، کاهش حجم عملیات دریایی و انعطاف‌پذیری در شکل‌دهی سازه از جمله ظرفیت‌های قابل توجه این روش محسوب می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: کیسون ته‌باز، سازه دریایی، دیوار ساحلی، مطالعه موردی، دریایی

۱- مقدمه

هیدرودینامیکی، امکانات اجرایی و الزامات بهره‌برداری وابسته است (OCDI, 2018). در میان گزینه‌های موجود، استفاده از کیسون‌های ته‌باز به عنوان یکی از روش‌های احداث سازه‌های دریایی، به دلیل امکان انتقال بخشی از عملیات ساخت به محیط خشکی، کاهش حجم عملیات دریایی و قابلیت اجرای سازه‌های وزنی، مورد توجه قرار گرفته است. سیستم کیسون‌های ته‌باز دریایی که در ایران طراحی و توسعه یافته، بر پایه ترکیب کیسون‌های ته‌باز و دیواره‌های میانی شکل گرفته و برای کاربرد

صنعت ساخت‌وساز دریایی به دلیل مواجهه هم‌زمان با شرایط محیطی سخت، الزامات دوام بلندمدت، پیچیدگی‌های اجرایی، هزینه‌های بالای عملیات دریایی و ملاحظات محیط‌زیستی، همواره نیازمند توسعه و به‌کارگیری روش‌های نوین طراحی و اجرا بوده است (USACE, 2006). انتخاب روش مناسب اجرای سازه‌های دریایی نظیر دیوارهای ساحلی، موج‌شکن‌ها، اسکله‌ها، سکوها و دلفین‌ها، علاوه بر ملاحظات فنی و اقتصادی، به عواملی همچون شرایط ژئوتکنیکی بستر، عمق آب، شرایط

در احداث دیوارهای ساحلی، موج‌شکن‌ها، اسکله‌ها، سکوها، دلفین‌ها و سایر سازه‌های دریایی توسعه یافته است.

در این روش، اجزای اصلی سازه در قالب‌های فلزی آب‌بند در خشکی ساخته شده و پس از انتقال به صورت شناور به محل اجرا، عملیات استقرار، بتن‌ریزی جداره‌ها و پر کردن فضای داخلی کیسون‌ها و بین دیواره‌های میانی با مصالح مناسب طبیعی (سنگدانه‌ای) انجام می‌شود. این رویکرد با هدف کاهش وابستگی به عملیات گسترده دریایی، افزایش انعطاف‌پذیری اجرایی و فراهم‌سازی شرایط مناسب برای ساخت سازه‌های بادوام توسعه یافته است. بخشی از نوآوری‌های این روش در قالب ثبت اختراع در برخی کشورها نیز مورد پذیرش قرار گرفته است. با وجود اجرای این سیستم در تعدادی از پروژه‌های داخلی و بین‌المللی، مستندسازی نظام‌مند تجربیات طراحی، اجرا و بهره‌برداری از آن محدود بوده است. از این رو، مقاله حاضر با رویکرد مطالعه موردی و مستندسازی تجربیات مهندسی، به معرفی سیستم دریایی، تشریح اجزای تشکیل‌دهنده و فرآیند اجرا، مرور ملاحظات طراحی و بررسی مزایا، محدودیت‌ها و نمونه‌های اجراشده می‌پردازد و تلاش دارد زمینه‌ای برای ارزیابی قابلیت کاربرد این روش در پروژه‌های مشابه فراهم آورد (صدیقی و همکاران، ۱۴۰۴).

۲- روش مطالعه

پژوهش حاضر از نوع مطالعه موردی تحلیلی بوده و با هدف ارزیابی قابلیت کاربرد سیستم کیسون‌های تهباز دریایی در احداث سازه‌های دریایی انجام شده است. در این مطالعه، ویژگی‌های فنی، الزامات اجرایی و عملکرد بهره‌برداری این سیستم بر پایه شواهد و مستندات موجود مورد بررسی قرار گرفته است. اطلاعات مورد استفاده شامل گزارش‌های فنی و اجرایی پروژه‌ها، مستندات طراحی، نقشه‌ها، سوابق اجرای پروژه‌های مرتبط و اطلاعات موجود از وضعیت بهره‌برداری سازه‌های اجرا شده بوده است. همچنین مستندات توسعه فناوری و مدارک مرتبط با سوابق اجرای پروژه‌ها به عنوان منابع تکمیلی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، n.d.). تحلیل انجام‌شده در این پژوهش بر مبنای ارزیابی کیفی شاخص‌هایی شامل فرآیند اجرا، الزامات ساخت، ملاحظات پایداری، دوام سازه، محدودیت‌های اجرایی و حوزه‌های بالقوه کاربرد صورت گرفته است. با توجه به محدودیت دسترسی به

داده‌های کمی پروژه‌های قدیمی، نتایج بر پایه تحلیل فنی و تفسیر مهندسی مستندات موجود ارائه شده است.

به منظور بررسی قابلیت اجرای سیستم در شرایط واقعی، نمونه‌هایی از پروژه‌های اجرا شده مورد مرور قرار گرفته و عملکرد آنها از منظر ویژگی‌های اجرایی و بهره‌برداری مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این میان، پروژه اسکله نفتی قشم به عنوان نمونه شاخص استفاده از سیستم دریایی انتخاب و بررسی شده است (شرکت دریایی، ۱۳۶۹).

فرآیند انجام پژوهش شامل چهار مرحله اصلی بوده است: (۱) گردآوری و بازبینی مستندات موجود، (۲) استخراج شاخص‌های فنی و اجرایی، (۳) ارزیابی قابلیت کاربرد سیستم و (۴) جمع‌بندی یافته‌ها.

۳- معرفی سیستم کیسون‌های تهباز دریایی

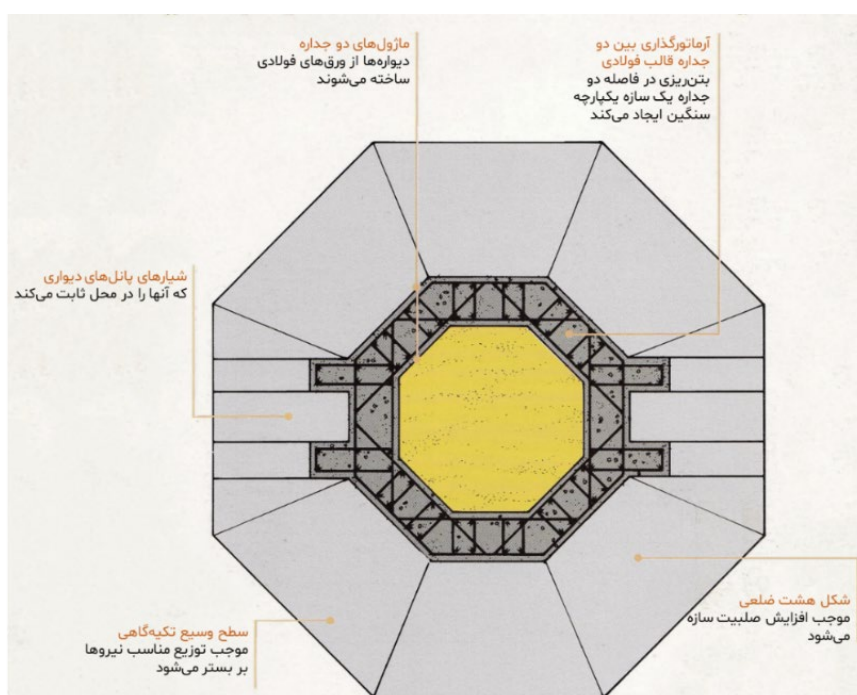
۳-۱- کلیات

کیسون‌های تهباز یکی از روش‌های شناخته‌شده در احداث سازه‌های دریایی وزنی محسوب می‌شوند که در پروژه‌هایی نظیر دیوارهای ساحلی، اسکله‌ها، موج‌شکن‌ها و سایر سازه‌های ساحلی و فراساحلی کاربرد دارند. در این روش، بخش عمده‌ای از عملیات ساخت در محیط خشکی انجام شده و پس از انتقال اجزا به محل پروژه، عملیات استقرار و تکمیل سازه در محیط دریایی انجام می‌شود. این ویژگی می‌تواند موجب کاهش وابستگی به عملیات پیچیده دریایی و افزایش کنترل‌پذیری فرآیند ساخت شود.

سیستم دریایی یکی از روش‌های توسعه‌یافته مبتنی بر مفهوم کیسون‌های تهباز است که با ترکیب کیسون‌ها و دیواره‌های میانی برای احداث سازه‌های دریایی طراحی شده است. سازه اولیه کیسون‌ها در این سیستم، با استفاده از ورق‌های فولادی در خشکی احداث می‌شود و سپس به موقعیت نهایی در دریا انتقال می‌یابد. پس از استقرار این واحدها در فواصل از پیش تعیین شده در دریا، پانل‌های دیواره‌ای در شیارهای عمودی تعبیه شده در طرفین کیسون‌ها قرار می‌گیرند. کیسون‌های تهباز، دارای دیواره‌های فولادی دوجداره هستند که در فواصل بین دو جداره، آرماتورهای فولادی بر اساس طرح اولیه تعبیه می‌شود. پس از استقرار کیسون‌ها در موقعیت نهایی در دریا، فاصله بین دو جداره دیواره‌ها توسط بتن پر می‌شود تا سازه یکپارچه و سنگینی با

ژئوتکنیکی بستر می‌تواند به بیش از دو متر برسد. تنظیم میزان فرورفتگی کیسون در بستر دریا با کمک لایروبی کنترل شده از داخل کیسون انجام می‌شود. با قرارگیری کیسون در موقعیت و عمق مناسب، داخل کیسون با مصالح سنگدانه‌ای مناسب پر می‌شود تا سازه نهایی به حداکثر پایداری برسد. این سیستم ابتدا در مناطق خلیج فارس و دریای خزر توسعه یافت و اولین پروژه آن در سال ۱۳۶۹ با موفقیت تکمیل شد. پلان کلی کیسون‌های دریای پای و ویژگی‌های اصلی آن در شکل ۱ نشان داده شده است.

مقاومت و دوام بالا ایجاد شود. جداره‌های فولادی در واقع نقش قالب‌های فدا شونده را برای سازه نهایی دارند اما می‌توانند تا چندین سال برای بتن در محیط خورنده دریا حفاظت نسبی ایجاد کنند. قسمت تحتانی کیسون‌ها یک هرم ناقص است که به دیواره‌های عمودی در قسمت بالایی متصل می‌شود. شکل هشت‌ضلعی کیسون‌ها، باعث صلبیت بالایی سازه می‌شود و بارهای وارده، از طریق مساحت نسبتاً وسیع کیسون در تراز بستر، توزیع می‌شوند. جداره پایینی کیسون‌ها نوک تیز هستند که باعث می‌شود کیسون بعد از قرارگیری روی بستر تا حدی تحت وزن خود در زمین فرو رود. میزان فرورفتگی با توجه به شرایط

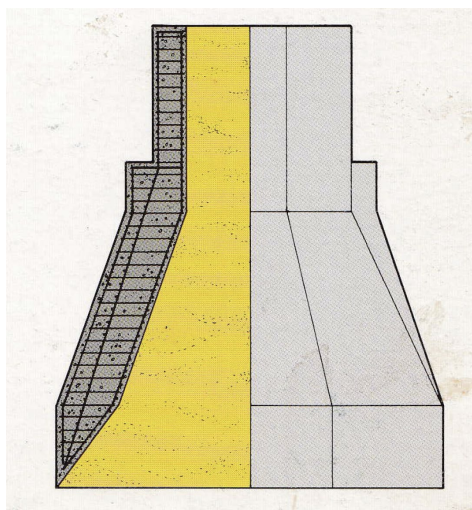


شکل ۱. مشخصات کلی کیسون‌های دریای پای - طرح کلی از نمونه موردی اسکله قشم

۳-۲- فرایند تولید و نصب کیسون‌های دریای پای

آرماتورهای طولی و عرضی در دو لایه روی آن طبق طرح چیده می‌شوند. سپس قاب خارجی که روی پایه مشابهی ساخته شده است روی قفس آرماتور قرار داده می‌شود. بدین ترتیب، دو قاب فولادی با یک شبکه آرماتور در بینشان ایجاد می‌شوند. قاب‌های داخلی و خارجی توسط اتصالات جوشی به یکدیگر متصل می‌شوند که وظیفه تثبیت آنها حین عملیات بتن‌ریزی را به عهده دارند. تمامی اتصالات جوشی آب‌بند هستند و دقت می‌شود که شبکه آرماتورها، اتصالی با قاب خارجی و داخلی نداشته باشد. در شکل ۲ نمایی از قاب‌های داخلی و خارجی و شبکه آرماتور بین آنها قابل مشاهده است.

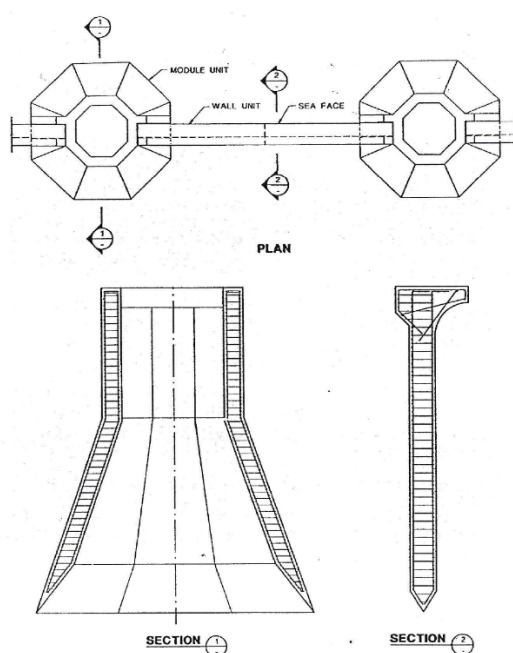
ساخت مدول‌های کیسون با تولید قاب‌های داخلی و خارجی از جنس ورق‌های فولادی در کارگاه ساحلی آغاز می‌شود. مدول‌ها عموماً با سطح مقطع هشت ضلعی ساخته می‌شوند اما بسته به ملزومات طرح می‌توانند شکل‌های دیگری نیز داشته باشند. مدول‌های هشت‌ضلعی روی پایه‌هایی ساخته می‌شوند که یک دکل مرکزی دارد و دو حلقه هشت‌ضلعی روی آن قرار می‌گیرد. حلقه بالایی متناسب با بخش بالایی سازه است و حلقه پایینی در ابعاد قسمت تکیه‌گاهی ساخته می‌شود. ورق‌های فولادی برش خورده به هشت‌ضلعی بالایی متصل شده و به این ترتیب برای جوشکاری نهایی تراز می‌شوند. با تکمیل قاب داخلی،



شکل ۲. نمای قاب‌های داخلی و خارجی و شبکه آرماتور بین آن‌ها- نمونه موردی اسکله قشم

متشکل از مدول هشت‌ضلعی و دیواره میانی در شکل ۳ نشان داده شده است.

پانل‌های دیواری میانی نیز به روش مشابهی ساخته می‌شوند به صورتیکه یک شبکه آرماتور در دو لایه بین دو جداره دیواره‌ای آب‌بند قرار می‌گیرد. پلان و مقاطع سیستم دیوار ساحلی دریای

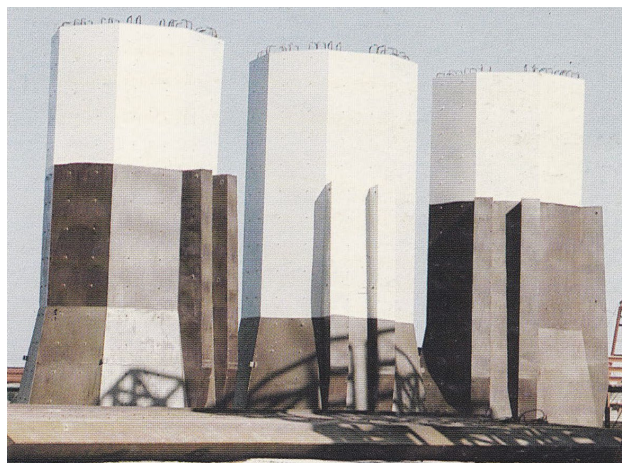


شکل ۳. پلان و مقاطع دیوار ساحلی با سیستم دریای- نمونه موردی اسکله قشم

توجه به سرعت بالای اجرا و در نتیجه کاهش زمان عملیات دریایی و هزینه‌های تجهیزات اجرای دریایی قابل توجه است (حذف نیاز پروژه به جرثقیل‌های عظیم و سازه‌های موقت ولی پرهزینه به آب‌اندازی ساحلی و تبدیل "عملیات انتقال و استقرار

قاب‌های داخلی و خارجی تنها نقش قالب‌های فدا شونده برای ساخت مدول‌های بتنی در دریا را دارند. در واقع، سازه نهایی به عنوان یک سازه وزنی از بتن مسلح است که با هدف تامین دوام بالا و کمترین نیاز به نگهداری و تعمیرات دوره‌ای در عمر مفید خود طراحی می‌شود. استفاده از قالب‌های فولادی فداشونده با

سازه سنگین بتن آرمه از خشکی به دریا" به "عملیات‌های بتن‌ریزی بسیار سبک‌تر درون دریا با کمک بارج". در شکل ۴ و شکل ۵ نمونه‌هایی از مدول‌های ساخته شده پس از سندبلاست و رنگ آمیزی در خشکی و آماده انتقال به بارج حامل نشان داده شده‌اند.



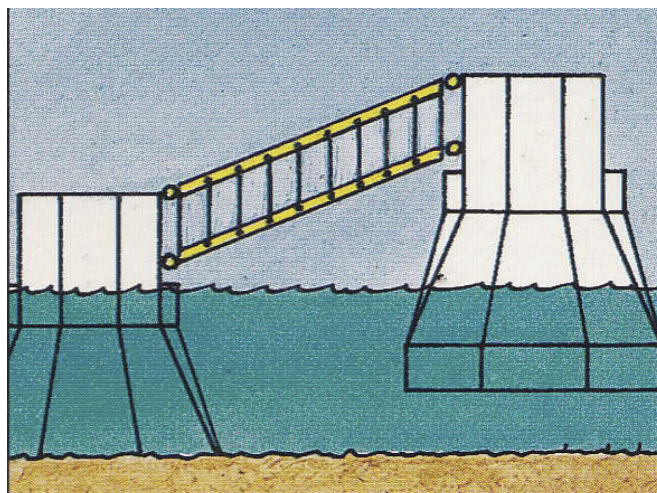
شکل ۴: ساخت مدول‌ها در خشکی - نمونه موردی اسکله قشم



شکل ۵: مدول‌های ساخته شده در حال نصب دیواره آبگیر قشم

شده در دریا و از سمت دیگر به مدولی که هنوز شناور است متصل می‌شود. سپس مدول شناور، به تدریج بتن‌ریزی می‌شود و به آرامی در محل مورد نظر با فاصله دقیق (طبق طول شابلون) روی بستر دریا قرار می‌گیرد (شکل ۶ تا شکل ۸).

یک نوآوری مهم در نصب مدول‌ها، استفاده از شابلون متوازی‌الاضلاع برای تنظیم موقعیت مدول‌ها نسبت به یکدیگر بوده است. این شابلون یک سیستم بزرگ مقیاس است که از قسمت‌های مستطیلی توخالی با اتصالات پین‌شکل لولایی تشکیل شده است. این شابلون، از یک سمت به مدول نصب



شکل ۶. طرح شماتیک استفاده از شابلون برای تنظیم فاصله بین مدول‌ها



شکل ۷. نصب شابلون‌ها بین مدول‌ها - نمونه موردی اسکله قشم



شکل ۸. غرق کردن مدول‌های مجاور با کمک شابلون با بازوهای مفصلی - نمونه موردی اسکله قشم

می‌توان میزان فرورفت و حفظ حالت عمودی کیسون حین فرورفتن در بستر را تنظیم و کنترل کرد. عملکرد پمپ، مستقل از میزان سختی یا تراکم لایه‌های ماسه‌ای بستر است. پس از قرارگرفتن مدول‌ها در موقعیت نهایی و اطمینان از تراز بودن مدول‌ها، با عملیات لایروبی موضعی زیر پایه‌ها، فضای خالی داخل محفظه کیسون با مصالح مناسب سنگی و ترجیحاً مصالح محلی پر می‌شود. این کار باعث افزایش وزن و در نتیجه

پس از قرارگیری کیسون روی بستر دریا، فاصله میانی قالب دو جداره کاملاً با بتن پر می‌شود و افزایش وزن کیسون، نیروی رو به پایین را بر لبه‌های تیز آن وارد می‌کند. در نتیجه جداره کیسون تا حدی در بستر دریا فرو می‌رود. کیسون می‌تواند بین یک تا سه متر در بسترهای ماسه‌ای فرو رود. میزان فرورفت با استفاده از یک پمپ روی بازوی چرخانی در داخل محفظه مدول تنظیم می‌شود. با استفاده از لایروبی موضعی در نقاط مختلف پایه،

به شرایط محیطی در طراحی لحاظ می‌شوند. بارهای محیطی ناشی از فشار خاک و آب در شرایط عادی و زلزله، نیروهای ناشی از امواج و بارهای تصادفی ناشی از ضربه کشتی، نیروهای ناشی از ضربه پهلوگیری و مهاربندی کشتی در اسکله‌ها و دلفین‌ها علاوه بر بارهای مرده و سربارها بسته به شرایط بهره‌برداری در طراحی لحاظ می‌شوند. برخی از ویژگی‌های سیستم دریایای که لازم است در طراحی مورد توجه باشند در ادامه اشاره شده است.

عمر مفید طرح

عمر مفید دیوارهای ساحلی ساخته شده با سیستم کیسون‌های دریایای، حتی در شرایط دریایی حاد با رعایت کامل اصول استاندارد طرح و اجرای سازه‌های بتن آرمه یعنی استفاده از مصالح و آب فاقد یون کلر، حداقل نسبت آب به سیمان، کاربرد سیمان و مواد افزودنی مناسب از جمله فوق روان‌کننده و کاهنده نفوذپذیری و افزایش مقاومت بتن، بیش از ۱۰۰ سال برآورد می‌شود. البته در برآورد عمر مفید، حتی نقش حفاظتی قالب‌های فولادی فداشونده از بتن و آرماتورهای داخل آن لحاظ نشده است.

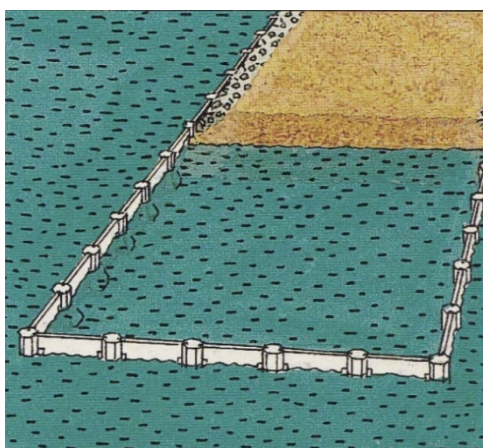
پایداری

سیستم کیسون‌های دریایای و دیوارهای میانی به گونه‌ای طراحی می‌شود که قبل از خاکریزی و استحصال در منطقه احیا طبق شکل ۹ در دوره اجرای طرح، به تنهایی در برابر بارهای وارده دارای پایداری کافی باشد.

پایداری بیشتر سازه می‌شود. در مرحله بعد، پانل‌های دیواره‌ای در شیارهای تعبیه شده طرفین کیسون‌ها قرار داده می‌شوند. با بتن‌ریزی تدریجی پانل‌ها و افزایش وزن، این پانل‌ها در محل نهایی پایین رفته و مستقر می‌شوند. برای اطمینان از میزان فرورفت لازم پانل‌ها در بستر، یک سیستم جت آب روی قالب دیواره و در نزدیکی پایه‌های نوک‌تیز دیوار نصب می‌شود. استفاده از ورق‌های نازک فولادی برای ساختن قالبها، موجب تسهیل احداث دیواره‌ها با شکل‌های مختلف می‌شود. اولین نمونه‌های نصب شده از سیستم کیسون دریایای، در آب‌های کم‌عمق و بستری از جنس ماسه یکنواخت نصب شدند. با کسب تجربه بیشتر در اجرا، این سیستم برای عمق‌های بیشتر و بستر با مصالح چسبنده (رسی) و سخت (سنگی) نیز توسعه داده شد. قطعاتی با ارتفاع تا ۱۸ متر و قطر تا ۲۶ متر با استفاده از این روش ساخته شده‌اند. طراحی و کنترل‌های پایداری ژئوتکنیکی بر مبنای سیستم وزنی انجام می‌شود و مستلزم وجود ظرفیت باربری کافی در لایه‌های بستر است. چنانچه ظرفیت باربری کافی در عمق مناسب وجود داشته باشد، اجزای سیستم می‌تواند با توجه به ارتفاع لازم، خصوصیات مصالح و شرایط بارگذاری طراحی شود.

۳-۳- ملاحظات طراحی کیسون‌های دریایای

دیوارهای ساحلی که با استفاده از کیسون‌های دریایای احداث می‌شوند، دیوارهای قائمی هستند که به مقدار محدودی در بستر نفوذ دارند و پایداری اصلی آن‌ها به صورت وزنی تامین می‌شود. طراحی این دیوارهای وزنی، بر اساس ضوابط و آیین‌نامه‌های معتبر داخلی و بین‌المللی انجام و بارگذاری‌های معمول با توجه



شکل ۹. پایداری دیوار ساحلی کامل شده پیش از استحصال

حفاظت در برابر آب‌شستگی

میزان فرسایش و آب‌شستگی در پای دیواره‌های قائم به دلیل خطر حذف یا کاهش گوه مقاوم، می‌تواند یکی از عوامل بسیار مهم در پایداری دیوارهای ساحلی و اسکله‌های بیرون از بندرگاه محسوب شود اما در سازه متشکل از پایه‌های دریایی و دیواره‌های میانی، با توجه به کوچکتر بودن گوه مقاوم این خطر به مراتب کمتر از سیستم‌های متشکل از شمع‌های با عمق نفوذ بالا است. از طرفی مجموعه تورفتگی و جلوآمدگی پایه‌ها و دیواره‌های دریایی و استفاده از شکستگی‌های متعدد در نما، موجب کاهش ضریب انعکاس در سطح تحت حمله امواج می‌شود که در کنترل و کاهش میزان فرسایش و آب‌شستگی در پای سازه بسیار موثر است.

بتن

طراحی بتن برای این سیستم با در نظر گرفتن حداقل نسبت سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب انجام می‌شود. جهت اطمینان از دوام و مقاومت کافی، طراحی با توجه به نفوذناپذیری با کاهش نسبت آب به سیمان و بکارگیری مواد افزودنی مناسب، pH بالا، دمای هیدراسیون پایین، کاهش تری‌سیلیکات آلومینیوم و مقاومت در برابر حمله سولفاتی و یون کلر انجام می‌شود. به منظور ارتقا پایداری بتن در برابر حمله کلریدی و سولفاتی از سیمان نوع دو در ساخت بتن استفاده می‌شود. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی سنگدانه‌های مصرفی نیز از لحاظ انطباق با استانداردهای مرتبط کنترل می‌شوند. همچنین جهت افزایش دوام بتن، مقدار آب مصرفی تا حد امکان کاهش یافته و روانی بتن با استفاده از افزودنی مناسب تامین می‌شود. ضخامت دیواره‌ها معمولاً در محدوده ۶۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود و مقدار پوشش بتن بر روی آرماتورها بیش از ۵ سانتیمتر لحاظ می‌گردد.

آرماتورهای فولادی

آرماتورهای درون جدادهای کیسون و دیواره‌های دریایی عمدتاً سازه‌ای هستند لذا همانند دیگر سازه‌های دریایی مرسوم از جنس‌های موجود در بازار A1 و A2 و A3 در طراحی لحاظ می‌شوند و ضمناً به دلیل استفاده در دیوارهای با ضخامت زیاد، در صورت رعایت کلیه مبانی طراحی بتن دریایی و تمهیدات اشاره شده در بندهای فوق نیازی به صرف هزینه‌های سنگین فولادهای دریایی یا زنگ نزن و یا حتی استفاده از پوشش

حفاظتی و رنگ آمیزی برای آن‌ها نیست. قفس آرماتورها به طور کامل متکی به قاب فولادی داخلی هستند به طوری که اگر قاب بیرونی دچار خوردگی شود، آرماتورها به طور کامل و مستمر پوشش بتنی را حفظ می‌کنند و سازه اصلی بتن آرمه در مقابل نیروهای وارده مقاومت می‌نماید. ورق‌های قاب نیز از فولاد معمولی ساخته می‌شوند که پس از تکمیل عملیات جوشکاری آب‌بند، سند بلاست و با رنگ‌های مناسب محیط دریایی رنگ‌آمیزی می‌شوند. تجربه اسکله قشم نشان داده است که رشد روینده‌های دریایی روی قابهای فلزی، پوششی مستحکم بر روی آنها ایجاد می‌کند که بر دوام کلی سازه می‌افزاید.

۳-۴- مزایای سیستم دریایی

سرعت اجرایی بالا

روش احداث دیواره ساحلی با استفاده از قطعات مدولار پیش‌ساخته در خشکی، به نسبت آسان و سریع است. با توجه به اینکه فرایند اصلی ساخت قطعات در خشکی انجام می‌شود، زمان انجام عملیات دریایی محدود می‌شود. هزینه‌ها و زمان عملیات در این روش می‌تواند نسبت به سایر روش‌ها کمتر باشد.

حداقل تاثیر محیط‌زیستی

احداث دیواره ساحلی با استفاده از سیستم دریایی منجر به کاهش اثرات منفی بر محیط زیست دریایی می‌شود. عملیات احداث دریایی، محدود به استقرار کیسون‌ها و دیواره‌های میانی در محل، بتن‌ریزی قاب‌ها و پر کردن مدول‌ها با مصالح دانه‌ای و سنگریزه‌ای است. با توجه به اینکه برای پر کردن فضای داخل کیسون‌ها و مابین دیواره‌ها از مصالح طبیعی و محلی استفاده می‌گردد، علاوه بر کاهش قابل ملاحظه هزینه‌ها، همخوانی بیشتری با محیط ایجاد می‌شود. در محدوده‌های استحصال و یا فضای پشت دیوارهای ساحلی که با استفاده از سیستم دریایی قبل از خاکریزی محصور شده‌اند، تکمیل عملیات خاکی نهایی باعث انتشار آلودگی و کدورت در دریا نمی‌شود و این موضوع نیز از مزایای محیط‌زیستی این روش محسوب می‌شود. از طرف دیگر، به دلیل عدم استفاده از شمع‌کوبی، آلودگی صوتی در اجرای این روش به نسبت پایین است.

استحکام و دوام بالا

سازه نهایی، یک سازه بتن مسلح با دوام و مقاومت بالا و عمر مفید قابل توجه است.

ویژگی‌های زیبایی شناختی

مدول‌ها و دیوارها با توجه به استفاده از ورق‌های شکل‌پذیر فولادی به عنوان قالب، می‌توانند مطابق با معیارهای طراحی معماری شکل داده شوند. این انعطاف‌پذیری باعث می‌شود که سازه‌ها علاوه بر کارایی، زیبایی و ویژگی‌های منحصر به فرد معماری نیز داشته باشند. در صورتیکه طراحی قطعات به گونه‌ای انجام شود که قالب خارجی پس از نصب جدا و برداشته شود، سطح نهایی بتن، سطحی صاف، یکنواخت و دارای ظاهر زیبا و قابل قبول خواهد بود.

۳-۵- محدودیت‌ها و چالش‌ها

به طور کلی، گزینه‌های مرسوم اجرای سازه‌های دریایی اعم از موج‌شکن، دیوار ساحلی، اسکله و ... از لحاظ عمق آب، میزان در معرض امواج بودن، شرایط ژئوتکنیکی بستر، انواع و شدت بارگذاری قائم و جانبی وارده، مصالح مورد نیاز و در دسترس و تجهیزات عملیات اجرایی در دریا، بسیار متنوع هستند به طوریکه برخی از این گزینه‌ها با توجه به شرایط خاص یک پروژه می‌توانند در بررسی مقایسه‌ای از لحاظ فنی و یا هزینه‌های اجرایی، موضوعیت نداشته و حذف شوند و یا بالعکس در اولویت قرار گیرند که طرح دریای پای نیز از این قاعده عمومی مستثنی نیست. در کنار مزایا و ویژگی‌های این طرح که در بالا ذکر شد، برخی محدودیت‌ها و چالش‌های طرح نیز در ادامه مورد اشاره قرار می‌گیرد.

هزینه اولیه

با توجه به استفاده از قالب‌های فولادی فداشونده، هزینه اولیه تولید مدول‌ها ممکن است در مقایسه با روش‌های سنتی بالاتر باشد که مقایسه اقتصادی این "هزینه‌های اضافی" با کاهش یا حذف "هزینه‌های ناشی از تهیه تجهیزات مورد نیاز برای انتقال و استقرار قطعات و کیسون‌های پیش‌ساخته بتن آرمه مشابه و همین‌طور افزایش عمر مفید پروژه" در بررسی گزینه‌های مختلف باید لحاظ شود.

نیاز به تخصص ویژه

نصب و استقرار دقیق این سیستم همانند سایر گزینه‌های متناظر به نیروی کار ماهر و تخصص ویژه نیاز دارد که باید در هر پروژه این تفاوت‌ها مد نظر قرار گیرد.

شرایط خاص ژئوتکنیکی بستر

اجرای پروژه در بسترهای بسیار سخت یا نامناسب ممکن است به تجهیزات و طراحی‌های خاص نیاز داشته باشد. به عنوان مثال می‌توان به لایروبی و بسترسازی در سواحل سخت و یا نیاز به پاشنه سنگی برای جلوگیری از فرسایش سواحل ماسه‌ای پای سازه در خارج از محیط بندرگاه اشاره کرد.

عمق آب و میزان در معرض امواج بودن در حین اجرا یا دوره بهره‌برداری

افزایش هریک از این عوامل، برای سازه دریای پای نیز همانند هرگونه سازه دریایی دیگر بطور تصاعدی چالش برانگیز و دارای تاثیرات مهمی است که الزاماً در گزینه‌های مختلف، مشابه و یکسان نیستند لذا بررسی دقیق‌تری را برای طراح الزامی می‌سازد.

انواع و شدت بارگذاری قائم و جانبی وارده

از آنجا که سازه دریای پای در گروه "سازه‌های وزنی با فونداسیون سطحی" قرار می‌گیرد لذا برای پاسخ مناسب به مجموعه نیروهای وارده و تامین ظرفیت باربری لازم، به عرض و سطح کافی روی بستر نیاز دارد. انواع گزینه‌های چیدمان پایه‌ها و دیواره‌ها که به ترتیب می‌توانند ظرفیت باربری بیشتری را تامین کنند، به صورت زیر قابل طرح و اجرا هستند:

الف) "پایه‌های منفرد (بدون دیواره‌های میانی)" برای پایه پل، دلفین، سکوی دور از ساحل و سازه‌های مشابه

ب) "یک ردیف متشکل از تک پایه‌های کوچک مربعی و تک دیواره‌های میانی مابین آنها" برای دیوار ساحلی کم عمق، دایک منطقه احیای موازی ساحل در عمق کم و سازه‌های مشابه

ج) "یک ردیف متشکل از تک پایه‌های بزرگ مستطیلی با دو دیواره میانی موازی مابین آنها" برای دیوار ساحلی با عمق متوسط، اسکله موازی ساحل یا موج‌شکن و سازه‌های مشابه

د) دو ردیف موازی از گزینه ب (هر ردیف متشکل از تک پایه‌های بزرگ مربعی و تک‌دیواره میانی مابین آنها) برای دایک

منطقه احیای عمود بر ساحل، اسکله عمود بر ساحل، موج شکن و سازه‌های مشابه

۳-۶- پروژه‌های اجرا شده

روش کیسون‌های دریای تانگون در پروژه‌های متعددی در ایران و جهان با موفقیت اجرا شده است.

اسکله ۵۰۰۰ تنی نفتی قشم، در شمال شرقی جزیره و بین اسکله‌های هامون و فجر واقع شده است. این اسکله که به صورت یک جتی عمود بر ساحل احداث شده است تا طول حدود ۴۰۰ متر به صورت توده‌سنگی بوده و حدود ۱۰۰ متر انتهایی آن با سیستم دریای اجرا شده است. ۱۹ مدول با قطر

۳/۶ متر و ارتفاع ۷/۸ متر برای احداث این بخش از اسکله مورد استفاده قرار گرفته است. علاوه بر پروژه‌های مورد اشاره، سیستم دریای در احداث آبگیر تاسیسات آب‌شیرین‌کن قشم (با استفاده از ۲ مدول با ابعاد $۱۳/۶ \times ۸/۱$ متر و ارتفاع ۱۲ متر) و بازسازی پایانه صادرات مواد معدنی بندرعباس (با استفاده از یک مدول به ابعاد ۱۳×۷ متر و ارتفاع ۱۴/۲ متر) نیز به کار رفته است.

ایده به کار رفته در سیستم دریای، در دهه ۱۹۹۰ برای توسعه بخشی از زیرساخت‌های بندر وکسفورد (Wexford) ایرلند جنوبی مورد استفاده قرار گرفت. نمایی از احداث دیوار ساحلی به روش دریای در این بندر در شکل ۱۰ و شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۰. تصویر هوایی بندر وکسفورد ایرلند جنوبی



شکل ۱۱. پروژه بندر وکسفورد ایرلند جنوبی

۳-۷- ثبت اختراع

روش احداث دیوارهای ساحلی با استفاده از کیسون‌های دریای با توجه به نوآوری‌های آن، در سال ۱۹۸۶ میلادی در تعدادی از کشورها به ثبت اختراع رسید. ثبت اختراع این طرح به عنوان ایده نوآورانه از درجه A در کشورهای آمریکا، آرژانتین، برزیل، شیلی،

دانمارک، هند، ژاپن، نروژ، بلژیک، آلمان، فرانسه، ایتالیا، هلند، سوئد، کره جنوبی، اسپانیا و ترکیه پذیرفته شده است (Massoudi & Darya Paye Jetty Co., 1986).

۴- نتیجه گیری

سیستم دریایای با ترکیب نوآوری های فنی، مزایای محیط زیستی و اقتصادی، راهکاری مناسب و قابل طرح برای ساخت و سازهای دریایی است. این سیستم نه تنها توانسته است برخی از چالش های رایج این صنعت را تا حدودی برطرف کند، بلکه با ارائه رویکردی کارآمد و سازگار با محیط زیست، در زمان خود به یک فناوری پیشرو در سطح بین المللی تبدیل شده است. توسعه و اجرای این فناوری در پروژه های مختلف، نشان دهنده توانمندی مهندسان ایرانی در ارائه راهکارهای مدرن و کاربردی در صنعت ساخت و ساز است. توصیه های کلی زیر را می توان در خصوص کاربرد این روش مورد اشاره قرار داد.

- با توجه به اینکه بخش عمده ای از عملیات اجرایی در این روش، به صورت مستقل در خشکی قابل اجرا است، سرعت عملیات اجرایی می تواند به نسبت بالا باشد. بنابراین، در پروژه های بزرگ، پروژه هایی که دارای محدودیت زمانی در اجرا هستند یا پروژه هایی که با توجه به اقلیم دریایی منطقه، کمترین مواجهه با محیط دریایی حین اجرا برای آنها ضروری باشد، این روش می تواند به عنوان یک گزینه مناسب مطرح گردد.

- در بخشی از مناطق ساحلی و دریایی که در مجاورت مناطق حساس و ویژه محیط زیستی قرار گرفته اند، استفاده از این روش می تواند جایگزین مناسبی برای روش های متعارف و معمول اجرای دیوارهای ساحلی باشد. این روش، از نظر سرعت اجرا (و در نتیجه کمترین تأثیرات حین اجرا بر محیط زیست)، جلوگیری از پخش مصالح در محیط دریایی و کنترل کدورت آب (در مقایسه با روش های احداث سازه های توده سنگی) و آلودگی پایین صوتی (در مقایسه با روش های مبتنی بر کوبش شمع و شیت پایل)، می تواند گزینه ای مناسب در اجرای دیوارهای ساحلی در مناطق حساس محیط زیستی محسوب شود.

- دیوارهای ساحلی در پروژه های شاخص و مهم ملی معمولاً برای عمر مفید بالایی طراحی می شوند. در پروژه هایی که دوام سازه در طول عمر مفید بالا (حدود صد سال و بیشتر) حائز اهمیت و اولویت باشد و یا شرایطی که نگهداری از سازه و انجام تعمیرات دوره ای دشوار باشد، این روش می تواند به عنوان یک گزینه مناسب قابل طرح و بررسی باشد.

برخی از نوآوری های این روش که در مدارک ثبت اختراع مورد استناد قرار گرفته است، در ادامه تشریح شده است.

استفاده از قالب های فداشونده

بر خلاف روش های مرسوم که در آنها قالب ها پس از تکمیل مراحل اجرایی برداشته می شوند، این روش از قالب هایی استفاده می کند که در سازه نهایی باقی می ماند. این رویکرد شامل مزایایی مانند حذف مراحل پرهزینه و زمان بر برداشت قالب، تقویت سازه به علت کارکرد قالب فلزی به عنوان بخشی از سازه و ایجاد یک لایه محافظ بیرونی برای بتن در برابر خوردگی و آسیب های محیطی است.

شکل منحصر به فرد قالب ها

شکل قالب، مخروطی با مقطع چند ضلعی (ترجیحاً هشت ضلعی) بوده که در قسمت پایینی بزرگتر از مقطع بالایی است. این طراحی، باعث انتقال بهینه بار سازه به بستر می شود و احتمال نشست غیر متقارن را کاهش می دهد. شکل چند ضلعی قالب ها باعث افزایش استحکام سازه در برابر نیروهای جانبی شده و پایداری بیشتر قالب ها در هنگام نصب و پس از پر شدن با بتن را به دنبال دارد. همچنین می توان به سهولت ساخت قالب فلزی با استفاده از جوش دادن ورق های صاف در کنار یکدیگر اشاره کرد. لبه تیز قالب، امکان فرورفت آسان تر آن در بستر را فراهم می کند و نیاز به حفاری را کاهش می دهد. فضای توخالی بین دیوارهای محفظه ها، برای قرار دادن آرماتورهای تقویتی و ریختن بتن طراحی شده است. این ساختار باعث ایجاد استحکام داخلی در برابر فشارهای وارده از آب و خاک می شود. وجود شیارهای تعبیه شده در دیوارهای قالب، نصب پانل های دیواری بین مدول های کیسون را تسهیل کرده و امکان اتصال دقیق تر و سریع تر اجزای دیوار ساحلی را فراهم می آورد. رویکرد ساده سازی نصب با استفاده از شابلون، ایده نوآورانه دیگری در نصب این سیستم است. این شابلون با استفاده از دو تیر موازی و مفصل های چرخشی، نصب مدول ها را در موقعیت دقیق و فاصله از پیش تعیین شده ممکن ساخته و اطمینان از قرارگیری دقیق مدول ها را نسبت به یکدیگر فراهم می سازد.

استفاده از پانل های دیواری بین کیسون های اصلی

استقرار پانل های دیواری در فواصل بین مدول های کیسونی مستقر بر بستر، به عنوان یک ایده نوآورانه در این طرح پذیرفته شده است.

بتنی خواهد بود. از طرف دیگر، انعطاف‌پذیری بیشتری برای انتخاب شکل مقاطع با استفاده از قالب‌های فولادی وجود دارد.

۵- سپاسگزاری

مقاله حاضر براساس مستندسازی، تحلیل فنی و تجربیات اجرایی به کارگیری کیسون‌های تهباز دریاپای در اسکله نفتی قشم نگارش شده است. نخبگان و متخصصین متعددی در ایده‌پردازی، طراحی و اجرای این نوع کیسون‌ها در پروژه‌های ساحلی و دریایی نقش داشته‌اند که ذکر نام تک تک آن‌ها در این مختصر نمی‌گنجد. از تمامی افرادی که به نحوی در ایده‌پردازی تا اجرای این روش نقش داشته‌اند قدردانی می‌شود.

- در پروژه‌هایی با عمق آب متوسط و بالا، احداث موج‌شکن‌ها به صورت مقاطع متعارف توده‌سنگی، به علت شیب سازه نیازمند تامین حجم بالایی از مصالح است. در چنین پروژه‌هایی، استفاده از کیسون‌ها از جمله کیسون‌های دریاپای، می‌تواند به عنوان گزینه جایگزین مطرح باشد.

- مزیت استفاده از کیسون‌های دریاپای نسبت به کیسون‌های پیش‌ساخته بتنی این است که سازه‌های پیش‌ساخته فولادی، وزن سبکتری نسبت به کیسون‌های بتنی دارند و ساخت و انتقال آن‌ها به موقعیت نهایی در دریا با سرعت و کارایی بیشتری انجام می‌شود. همچنین احتمال آسیب به این سازه‌ها حین حمل و نصب، بسیار کمتر از احتمال آسیب به کیسون‌های پیش‌ساخته

۶-مراجع

-Massoudi, A., & Darya Paye Jetty Co., Ltd. (1986).

Method of constructing a rigid structure upon the bottom of a body of water as well as lost casing for performing said method (European Patent Application No. 98906824.7). European Patent Office.

-Overseas Coastal Area Development Institute of Japan (OCDI). (2018). Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan. Tokyo: OCDI.

-U.S. Army Corps of Engineers (USACE). (2006). Coastal Engineering Manual (CEM). Washington, DC: U.S. Army Corps of Engineers.

-صدیقی، سید معصومه، توکلی، رسول و مقدم، مونا (۱۴۰۴).

مستندسازی تجربیات استفاده از کیسون‌های تهباز دریاپای در احداث سازه‌های دریایی (گزارش تحقیقاتی شماره گ-۱۱۴۴). مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

-شرکت دریاپای. (۱۳۶۹). نقشه‌ها و مدارک طراحی و اجرای اسکله نفتی قشم، اسناد فنی و آرشیوی شرکت دریاپای. تهران.

-مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. (n.d.). نمونه نقشه‌های تهیه‌شده و مجموعه روش‌های اختراعی شرکت دریاپای در داخل و خارج از کشور [آلبوم]. کتابخانه بخش حمل‌ونقل دریایی.

Assessment of the Technical and Operational Performance of Daryapay Open-End Caisson System in Construction of Marine Structures (Case Study: Qeshm Oil Jetty)

Seyede Masoome Sadaghi, Assistant Professor, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran.

*Rasool Tavakoli, Executive Director of Darya Paye Innovative Project, Tehran, Iran.
Mona Moghadam, Research Expert, Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran, Iran.*

E-mail: S.Sadaghi@bhrc.ac.ir

Received: March 2026- Accepted: August 2026

ABSTRACT

The use of open-bottom caissons is an established method for the construction of marine structures, including wharves, breakwaters, seawalls, and offshore structures. Daryapay open-bottom caisson system, developed in Iran, is an approach based on the integration of open-bottom caissons and intermediate walls, developed with the aim of reducing marine operations, facilitating construction, and enhancing structural durability. This system can be applied in the construction of seawalls, breakwaters, wharves, platforms, dolphins, and other marine structures. In 1990, Daryapay Company designed and constructed the Qeshm Oil jetty using this caisson system through innovative engineering solutions. After more than three decades of operation, the jetty remains active and operational, which may indicate the applicability and durability of this construction approach under marine service conditions. In this paper, the experience of designing and implementing this system in marine projects is investigated. The findings from a review of design documents, construction records, and operational history indicate that the application of this system, particularly in projects with construction time constraints, environmental considerations, and requirements for enhanced structural durability, may be considered as a viable option. In addition, characteristics such as off-site fabrication of major components, reduced marine construction activities, and flexibility in structural configuration are among the notable capabilities of this method.

Keywords: Open-bottom Caisson, Marine Structure, Seawall, Case Study, Daryapay