هشتمین همایش صنایع دریایی
۹ لغایت ۱۱ آبانماه ۱۳۸۵
استان بوشهر

مروری برروشهای تشخیص آسیب در سکوهای ثابت دریایی خلیج‌فارس

مهدی بهزاد[۱]، علی‌اکبر گل‌افشانی[۲]، حسین ابراهیمیان[۳]

خیابان آزادی- دانشگاه صنعتی شریف- دانشکده مهندسی مکانیک

M_behzad@sharif.edu

چکیده

بازرسی سکوها در ایران با استفاده از غواص انجام شده و با توجه به اینکه مستلزم هزینه‌های هنگفت, وقت زیاد , ریسک بالا و تجهیزات و وسایل زیاد است، ارائه روشهای جدیدتر و ارزان‌تر برای بازرسی یک کار ارزشمند تلقی میگردد. لذا در این تحقیق به بررسی روشهای مختلف برای تشخیص آسیب در سکوهای ثابت دریایی پرداخته و سیر صعودی این علم جوان مورد بررسی قرار می‌گیرد. شناسایی روشهای بازرسی و تشخیص آسیب در سکوها بدون بهره گیری از در مراحل مقدماتی به عنوان نقطه آغاز طرحهای تحقیقاتی آتی حائز اهمیت است.

کلمات کلیدی: تشخیص آسیب-بازرسی سکوها-آزمایشهای دینامیکی-سکوهای ثابت دریایی

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف
۲- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف
۳- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

مقدمه

سکوهای فلزی ثابت دریایی از سال ۱۸۹۰ میلادی برای استخراج و تولید گاز یا نفت بطور وسیعی مورد استفاده قرار گرفته اند. استفاده از این سازه ها در عمق های کم و متوسط بسیار مناسب و اقتصادی است. طول عمر متوسط این سازه ها در حدود ۲۵ سال است. در سازه‌های دریایی با توجه به محیط دریا عوامل آسیب رساننده به سازه زیاد و نوع آسیب ها متنوع است و از سویی با آگاهی از عدم امکان بازرسی سازه به صورت ساده و مستمر، همیشه نگرانی از قابلیت اعتماد و ریسک پایداری آن وجود دارد و از سوی دیگر بازرسی سکوهای دریایی مستلزم اکیپ غواصی و تجهیزات گران در دریا می‌باشد. از سالهای اول دهه ۷۰، روشهای مختلف تحلیلی و آزمایشگاهی بر روی سازه‌های مختلف برای تعیین فرکانسها و شکلهای مودی ارتعاشی سازه , میرایی سازه , ماتریسهای جرم یا سختی مورد توجه محققین قرار گرفته و در سالهای اخیر با بهره گیری از این روشها، تشخیص نوع و محل آسیب در سازه ها مورد بررسی جدی قرار گرفته است.

در ایران با توجه به محدودیت های متعدد, غواص های ایرانی حداکثر تا عمق ۵۰ متر فعالیت می‌نمایند و برای اعماق بیشتر باید حتماً از شرکتهای خارجی دارای تجهیزات پیشرفته‌تر بهره گیری گردد که امری هزینه بر و بسیار گران می باشد. در صورت بسط و توسعه روشهای پیشرفته تشخیص آسیب، این امکان وجود خواهد داشت تا قبل از بازرسی‌های جزیی، ابتدا کل سازه بررسی شده و در صورت تشخیص، آسیب اجزای آن بررسی شوند.

لزوم بررسی روشهای مختلف تشخیص آسیب برای سکوهای موجود در منطقه خلیج فارس

دلایل اصلی برای لزوم بررسی روشهای مختلف تشخیص آسیب برای سکوهای موجود در منطقه خلیج فارس به شرح ذیل می‌باشند [۱]:

- روشهای مختلف تشخیص آسیب برای سازه های دریایی در ایران تاکنون مورد بررسی کامل قرار نگرفته اند.
- تجربیات موجود برای سکوهای دریایی در جهان بسیار محدود بوده و تنها در ۴ کشور دیگر بجز ایران موجود است و هنوز روش مناسبی برای شناسایی سیستم سازه های دریایی فولادی از نوع جاکت تدوین نشده است.

- در ایران پس از جنگ ایران و عراق و آسیب دیدگی سکوها، نیاز مبرم به بررسی دقیق سازه می‌باشد تا از صحت پایه‌ها وسایر اعضای اصلی سکوهایی که مورداصابت جزیی راکت یاموج انفجارقرارگرفته‌اند اطمینان حاصل گردد.
- بازرسی سکوها در ایران با استفاده از غواص انجام شده و این کار مستلزم هزینه‌های هنگفت, وقت زیاد, ریسک بالا وتجهیزات و وسایل زیادمی‌باشد. انجام بازرسی باروشهای جدیدترورارزان‌ترمیتواند یک کارارزشمند تلقی گردد.

ارزیابی عوامل ایجاد آسیب در سکوها

به طور کلی عوامل ایجاد آسیب در سکوها را که ممکن است مجموعه سازه و تاسیسات گرانقیمت آن را تهدید کند به گروه‌های زیر دسته بندی می‌گردد:

- ناکافی بودن حد ایمنی: ممکن است در طول عمر سازه بارهای محیطی شامل باد، موج و زلزله و همچنین بارهای ثقلی از حد تصور تجاوز کنند و یا اینکه مقاومت سازه در اثر علل مختلف کاهش یابد در این حالت امکان تجاوز نیرو از ظرفیت و در نتیجه آسیب به اعضای اصلی سکو و عرشه وجود دارد.
- رویدادهای اتفاقی: ممکن است در اثر رویدادهایی مانند برخورد شناورها به سکو، آتش‌سوزی، سقوط اشیا، بمباران و خوردگی خسارتهای جدی بوجود آید.
- اشتباهات کلی: خطاها و اشتباهات انسانی و سازمانی در طراحی، ساخت، حمل، نصب و بهره برداری از سکو می‌تواند موجب ایجاد آسیب شود.

عوامل ایجاد خسارت در یک سکو به شرح نشان داده شده در جدول (۱) می‌باشد [۱و۲]. با نگرش به جدول فوق ملاحظه می‌گردد که ارزیابی آسیب های ناشی از گروههایی که به کلیت پایداری سازه آسیب وارد نموده و باعث تغییررفتارسازه می‌گردند،حائز اهمیت بوده ولی علت رخداد آسیب‌های برآوردشده نیزازاهمیت بسزایی برخوردار است.

جدول ۱: طبقه‌بندی عوامل ایجاد کننده آسیب و خسارت در سکوهای دریایی

ردیف	عوامل اصلی موثر در ایجاد آسیب	نحوه تأثیر بر سکوی دریایی
۱	بارگذاری و شرایط محیطی	امواج دریا, باد، زلزله، ارتعاش تجهیزات, بار تأسیسات, رشد جانداران دریایی روی پایه‌ها
۲	ضربه و نصب سکو	برخورد شناورها به سکو, سقوط اشیا, بمباران, حمل و نصب سکو
۳	خوردگی	ناشی‌ازیونهای محلول درآب,ناشی ازدفع مواد شیمیایی خورنده ازسکو
۴	خستگی	نیروهای‌متناوب ومحیط خورنده باعث ترک در محل جوش می‌گردد.
۵	شکست‌تردونوع‌موادمصرفی‌وعوامل‌ناشی‌ازاجرا	نفوذ هیدروژن در مصالح, تنش پسماند, عملیات حرارتی, جوشکاری
۶	آشغالها و ضایعات خارج شده ازسکو	این عامل به صورت غیرمستقیم سبب بد عمل کردن حفاظت کاتودیک می‌شود.

شکلهای (۱) تا (۶) تعدادی از عوامل ایجاد کننده آسیب و خسارت در سکوهای دریایی در منطقه خلیج فارس را نشان می‌دهد. خسارتهای نشان داده شده در شکلها در اعضایی از سکو که بالای آب هستند، بوقوع پیوسته که با استفاده از روشهای بازرسی معمولی قابل تشخیص می‌باشند. اهمیت موضوع زمانی نمایان تر است که خسارتهای ذکر شده در جدول (۱) در اعضای زیر آب بوقوع بپیوندند. به این ترتیب اهمیت ارائه روشهای مناسب برای تعیین نوع و محل خسارتهای موجود در اعضا و اتصالات سکوهای ثابت دریایی بیش از پیش مشخص می‌شود.

مبانی و روشهای بازرسی سکوهای دریایی

بازرسی فرایندی است که در طی آن جهت اطمینان از استمرار عملیات تولید، احتمال هر نوع شکستگی را که باعث اختلال در تولید گردد به طور منظم هشدار می‌دهد. بازرسی ها رویهمرفته به سه گروه تقسیم می‌گردند[۱و۲]:

- بازرسی‌های کلی: که هر پنج سال یکبار انجام میشود و متضمن کیفیت اولیه سازه دریایی در عمر خدمت بوده که بلافاصله از زمان نصب به بعد دوره آن آغاز می‌گردد.
- بازرسی‌های سالانه: که به تناوب بین بازرسی های کلی با کنترل نمودن جوشهای اتصالات، میزان رشد جانداران دریایی بر روی اعضا، کنترل رایزرها، لوله ها، تکیه گاهها و سایر سیستمهای اصلی انجام می‌شود.
- بازرسی‌های اضافی: پس از وقوع حوادثی که در طول عمر سکو خارج از پیش بینیها حادث می‌شود، با توجه به نوع رخداد، انجام می‌شود.

بازرسی سکوهای دریایی با روشهای فعلی عملی بسیار هزینه‌بر و گران می‌باشد و با افزایش عمق بیش از ۵۰ متر در ایران هزینه های بازرسی ارزی می گردند. امروزه روشهای مختلفی برای بازرسی و کنترل سازه‌های دریایی وجود دارد که ممکن است استفاده از یک روش، پاسخگوی تمام جوانب نباشد. جدول (۲) به صورت خلاصه روشها و تجهیزات تست و بازرسی سازه که توسط غواص انجام می‌شود، نشان داده شده است [۱، ۲ و ۳]. جدول (۳) تجهیزات مدرنی که می‌تواند جایگزین غواص گردد و یا سرعت کار و دقت غواص را افزایش دهد، نشان داده شده است.

یکی از روشهای جایگزین غواص استفاده از ROV (Remotely Operating Vehicle) می‌باشد [۴و ۵]. این زیردریایی که در نوع‌های مختلف ساخته می‌شود، این امکان را فراهم کرده است تا با کنترل از بالای آب، مانند یک روبات در زیر آب به فعالیت بپردازد. در شکل (۷) نمایی از این دستگاه نشان داده شده است.

جدول ۲: روشهای مختلف بازرسی سکوهای دریایی توسط غواص

ردیف	روش بازرسی	نوع روش
۱	چشمی	– عمومی: بدون فیلمبرداری(توصیفی) و یا با فیلمبرداری بدون تمیز کاری – جزئی: جهت بررسی اتصال با تمیز کاری – دقیق: با تمیز کاری و با استفاده از آزمایشاتی بر روی اتصال
۲	حفاظت کاتودیک	– اندازه گیری پتانسیل – اندازه گیری دانسیته جریان (هر دو روش با استفاده از دستگاههای دیجیتال انجام می‌شوند.)
۳	ضخامت سنجی	– با استفاده از دستگاههای دیجیتال – با روش اولتراسونیک به روش A-Scan با دقت ۰/۱ میلیمتر
۴	اعضای پر شده از آب	– روش اولتراسونیک با تمیز کاری – روش پرتو نگاری و ثبت موضوع بر روی فیلم بدون تمیز کاری
۵	جوش و اتصال	– چشمی – ذرات مغناطیسی(MPI) برای تعیین طول و امتداد ترک – پرتونگاری بااشعه x وگاما برروی فیلم برای بررسی عیوب حجمی وناخالص جوش – اولتراسونیک به روش A-Scan – افت پتانسیل جریان متناوب برای ترکهای خستگی – روش الکترومغناطیس – روش قالب‌گیری با ماده رزین برای مشاهده عوارض سطح – عکاسی برای بررسی چشمی دقیق از فاصله کمتر از ۱۵۰ میلیمتر
۶	نمونه برداری	– نمونه گیری از خوردگی – نمونه گیری از جانداران دریایی (Marine Growth)

جدول ۳: روشهای جدید بازرسی سکوهای دریایی

ردیف	روش بازرسی	کاربرد
۱	ROV	– عملیات بازرسی چشمی, انجام تستهای ساده و انجام کامل تستهای جدول (۲) با استفاده از دستگاه در سه کلاس Workhorse, Inspection و Eyeball – امکان تمیز کاری, جوش، برش و بستن شیر – نصب و اندازه گیری و اجرای تجهیزات در بستر دریا – از سال ۱۹۹۶ به بعد با استفاده از فیبرهای نوری بجای کابل مسی تا عمق ۲۷۰۰ متر برای مشاهده و ۲۱۰۰متر برای حفاری و هر نوع اقدامی در کف دریا استفاده می‌شود.
۲	تست اکوستیک [۶]	بااستفاده ازثبت ارتعاش فرکانس بالا درسیستم میتوان ترکها را ثبت نمود.
۳	تست پیزوالکتریک [۷ و ۸]	از سال ۱۹۹۲به بعد برای آشکار سازی ارتعاش از حسگر پیزوالکتریک در نقاط مختلف استفاده شده است.
۴	تست ضربه - پژواک (Impact Echo Test)	با استفاده از ایجاد ضربه و اندازه گیری زمان رفت و برگشت ,ترکها را بررسی می‌کند.
۵	آزمایش‌های دینامیکی	هنوز در مرحله تحقیق است.

بازرسی و تشخیص آسیب در سکوهای ثابت دریایی با آزمایشهای دینامیکی

روشهای شناسایی سیستم

شناسایی سیستم (System Identification) شامل مطالعه رفتار سازه موجود بوسیله اندازه‌گیری ارتعاش خروجی سازه یا ثبت ارتعاش ورودی و خروجی سیستم به صورت توأمان در یک سری زمانی گسسته بر مبنای یک منبع تولید ارتعاش است. با استفاده از بررسی رابطه بین سیگنالهای ورودی و خروجی میتوان رابطه بین این دو را بدست آورد. در این حالت سیستم مانند یک جعبه سیاه تعریف می‌گردد و با تعیین رابطه بین دو سیگنال مشخصات سیستم شناسایی می‌گردد. با بیان دیگر هر سازه مانند یک فیلتر فرکانسی برای ارتعاش ورودی عمل میکند و می‌توان مشخصات این فیلتر را با داشتن ورودی و خروجی تعیین نمود [۹]. این امکان هم وجود دارد که با داشتن خروجی سیستم به تنهایی مشخصات مودال سازه نیز تعیین گردد. تاریخچه علم شناسایی سیستم به سالهای دهه ۵۰ برمیگردد که این ایده برای نخستین بار مطرح گردید و از آن زمان مطالعات آغاز شد. در مطالعه تاریخچه این دانش به دو رویه مطالعات تجربی- آزمایشگاهی بر روی مدل یا سازه واقعی و مطالعات تئوریک به منظور تدوین روش

ریاضی شناسایی سیستم برخورد می‌گردد. بدین ترتیب اهدافی را که می‌توان شناسایی سیستم دنبال نمود، شامل موارد ذیل است:

- تعیین مشخصات مودی سازه واقعی شامل فرکانسها, شکل مود و میرایی جهت شناخت سازه.
- تعیین اختلاف‌های بین مدل تحلیلی و سازه واقعی با انجام آزمایش روی سازه اصلی برای ایجاد اصلاحات لازم را در مدل تحلیلی
- تعیین اختلافات بین سازه سالم و آسیب دیده که جزو روشهای تشخیص آسیب می‌باشد.
- پیشنهاد روابط جدید برای نحوه ساخت مدلهائی با مقیاس کوچک به نحوی که خواص سازه واقعی را در بر داشته باشد.
- مانیتورینگ سازه با نصب حسگر از ابتدای عمر به منظور تعیین تغییرات نسبت به زمان .
- تعیین محل آسیب سازه و طراحی استراتژی بازرسی برای سازه هایی که امکان بازرسی مستقیم ندارند (مانند ایستگاههای فضایی و سکوهای دریایی).
- بدست آوردن روشهای جدید ریاضی شناسایی سیستم.

به طور کلی شناسایی سیستم سازه با دو روش اصلی انجام میشود که عبارتند از:

- پارامتریک، یا روش دامنه زمان: در این روش تخمین سیستم با روابط ریاضی و تعریف ماتریسهای حالت انجام می‌شود و با این تکنیک‌ها پارامترهای سیستم مانند ماتریسهای جرم و سختی را می‌توان بسته به نوع و دقت روش استخراج نمود که اینکار وابسته به داده ها و رکوردهای ثبت شده می‌باشد.
- غیرپارامتریک، یا روش دامنه فرکانس: در این روش فرکانسها، شکلهای مودی و میرایی از داده های ثبت شده استخراج می‌شود. با داشتن ورودی و خروجی تابع انتقال سیستم نیز قابل محاسبه است. در این روش نیاز به محاسبه با معادلات چند مجهولی نمی‌باشد و مشخصه سیستم کاملاً معلوم می‌گردد ولی پارامترهای فیزیکی آن تعیین نمی‌شوند.

روشهای انجام آزمایشهای دینامیکی

روشهای مختلف برای انجام آزمایش‌های دینامیکی به شرح زیر است[۹ و ۱۰]:

- آزمایش ارتعاشات محیطی:

در این روش ارتعاشات سازه تحت اثر محیط, ترافیک، باد و یا امواج دریا ثبت میگردد و سپس تجزیه و تحلیل میشود. در این روش ورودی ارتعاش نامشخص است.

- آزمایش ارتعاش اجباری:

در این روش سازه به وسیله یک تحریک مشخص خارجی مرتعش میشود که انواع آن به شرح زیر می‌باشد:

- تحریک سینوسی پایا
- تحریک سینوسی گذرا
- تحریک با استفاده از ارتعاش ماشین آلات
- تحریک توسط ویبراتور هیدرولیک و الکترودینامیک به صورت تصادفی, این روش در ناسا برای شاتل و فضاپیما بکار رفته است.
- تحریک به روش المان فعال پیزوالکتریک که با ایجاد کرنش در داخل اعضای سازه باعث تحریک مشخص سازه میگردد. این روش برای کنترل پیوسته سیستم در زمان بکار میرود.
- میزلرزان که برای مدلهای کوچک‌ومقیاس شده وکارهای آزمایشگاهی باورودی کنترل شده وقابل‌ثبت بکار میرود.
- آزمایش ارتعاش گذرا: این روش با ایجاد ضربه سازه را تست میکند مانند ضربه کشتی در سکوهای دریایی, ضربه چکش برای تست پلها، ضربه ناشی از فشار آب با بر بدنه سدها و یا بهره گیری از زلزله میباشد. این روش شبیه به ارتعاشات محیطی ولی با انرژی بیشتر است.
- تحریک میکروترمور: این روش معمولاً برای مانیتورینگ سازه های ساختمانی، شالوده ها و خاک بکار میرود. اندرکنش نیز با آن قابل بررسی است. این تحریکات می‌تواند توسط لرزشهای خفیف زمین یا ایجاد انفجار زیرزمینی باشد.

- آزمایش ارتعاش آزاد: در این روش با کشیدن سازه یا با پرتاب راکت از نوک یک سازه بلند مانند دودکش‌ها، یا با ایجاد یک حرکت اولیه توسط جک و یا کشیدن سکوی دریایی توسط شناورها، تحریک انجام می‌شود.

در شکل (۸) این روشها به صورت خلاصه نشان داده شده است.

روشهای تشخیص آسیب

روشهای مختلف شناسایی سیستم دارای دقت و توانایی‌های گوناگون می‌باشد. بر اساس مطالعات انجام شده، دقیقترین روش تشخیص سیستم سازه در قلمرو زمان و با داشتن ورودی و خروجی و تعداد زیاد حسگر مستقر در سیستم است. ارزان‌ترین روش استفاده از ارتعاشات محیطی (Ambient Vibration) است. از طرفی در مورد بعضی از سازه‌ها مانند فضاپیماها و سازه‌های دریایی استفاده از ارتعاشات اجباری توأم با هزینه زیاد ولی با دقت بالاتر نسبت به ارتعاشات اجباری است.

سیر تکامل این علم نشان میدهد که در دهه ۷۰ میلادی تمرکز بر روی بررسی سازه‌های واقعی صورت گرفته است. در بین سالهای ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰ موضوع آسیب شناسی با روش ارتعاشات برای سکوهای دریایی مطرح گردید. در این بررسی‌ها محل آسیب نامعلوم و اندازه گیری ارتعاشات در سیستم دارای محدودیت بود. در نتیجه در این روشها سناریوهای مختلفی با استفاده از مدل عددی پیش بینی شده و فرضیات مورد تحلیل قرار می‌گرفتند. برای آزمون, تغییرات فرکانسی مورد نظر قرار گرفته و با فرض مدلهای تئوریک سعی در یافتن آسیب شده است و در این مدلها روشهای مختلفی ابداع شده است. با توجه به تأثیر عوامل مختلف و ناشناخته مانند رشد جانداران دریایی , توزیع جرمها, شرایط شالوده ها و موارد مشابه کارایی این روش برای تحلیل دقیق قابل قبول دانسته نشده است. تحقیقهای مهم انجام شده در این دهه بصورت خلاصه در جدول (۴) ذکر شده است:

جدول ۴: تحقیقهای انجام شده برای تشخیص آسیب در سکوها در دهه ۷۰ میلادی

ردیف	محقق	سال	شرح خلاصه
۱	واندیور [۱۱]	۱۹۷۵ و ۱۹۷۷	استفاده از تغییر در فرکانس تشدید سازه برای یک سکوی ثابت دریایی پس از برخورد با یک شناور با تحلیل آماری انرژی- تغییر در فرکانس طبیعی اندازه گیری شده پس از برخورد به اندازه کافی بزرگ نیست تا بتواند نشان دهنده خرابی باشد
۲	بگ [۱۱]	۱۹۷۶	آزمایش بر روی یک سکوی مدل- در این آزمایش خرابی‌هایی در مدل ایجاد گردیده و فرکانس های طبیعی مدل با استفاده از تحریک اتفاقی بدست آمد. تغییر در سه فرکانس طبیعی اول سازه از ۵ تا ۳۰ درصد متغیر بود.

۳	لولاند و دادز [۱۱]	۱۹۷۶	مونیتورینگ سه سکو در دریای شمال به مدت ۶ تا ۹ ماه با ثبت تحریک‌های محیطی- طیف ارتعاشی با اختلاف ۳٪ پایدار است که این اختلاف به دلیل جزر و مد آب و تغییر وزن عرشه در زمانهای مختلف بوده است. همچنین تغییرات جزیی در سازه باعث ایجاد اختلاف ۱۰ تا ۱۵ درصدی در فرکانس تشدید میشود.
۴	ووناروفسکی ، استیانسن و رِدی [۱۱]	۱۹۷۷	اثر ۱۱ پارامتر مختلف (از جمله پی سکو ، رسوب دریا بر سکو ، خوردگی ، تغییرات بار عرشه ، خرابی در یک عضو و غیره) را بر رفتار دینامیکی یک سکوی دریایی با استفاده از یک مدل المان محدود و مقایسه تئوری و آزمایش- بیشترین تغییر در فرکانس طبیعی بر اثر تغییرات در پی سکو بوده و فرکانسهای طبیعی محاسبه شده از سکوی واقعی در حدود ۷ تا ۱۲ درصد مدل عددی سکو بدست آمد.
۵	روبین و کاپولینو [۱۱]	۱۹۸۰	استفاده از اطلاعات پاسخ مودال یک سکو به تحریکهای محیطی در خلیج مکزیک و ایجاد مدل المان محدود سکو و مقایسه تئوری و آزمایش- در این تحقیق حالت های مختلفی از خرابی را مدل ایجاد شده و تغییرات در فرکانس طبیعی محاسبه شده است. .نتایج حاصله نشان از ۱ تا ۲ درصد تغییر در فرکانس تشدید سکو باتوجه به محل خرابی را دارد. همچنین مشخص شد که تنها انحراف فرکانس آزمایش از مدل نمی‌تواند دلیلی بر آسیب باشد
۶	دووگان [۱۱]	۱۹۸۰	با اندازه گیری‌های انجام شده بر روی سه سکو در خلیج مکزیک که با ۷ شتاب سنج در روی عرشه به مدت ۷ ماه انجام گرفت نشان داد که تغییر در فرکانسها به دلیل حذف یک عضو مهاربندی قابل تشخیص از تغییرات ایجاد شده در اثر شرایط عادی کارکرد سکو نمی‌باشد . همینطور به دلیل اینکه خرابی ایجاد شده در سکو در ترتیب مودهای ارتعاشی نیز تاثیر می‌گذارد، پیشنهاد گردید که مودهای ارتعاشی متناسب با فرکانس اندازه گیری شده نیز باید تعیین گردند.
۷	کِنلی و دادز	۱۹۸۰	مطالعه تغییر در فرکانس طبیعی برای پیدا کردن خرابی در سکوها- در این مطالعه پاسخ ارتعاشی سکو به تحریکات محیطی به وسیله ۸ شتاب سنج بالای سطح آب اندازه گیری گردید. این شتاب سنج ها در پایین سطح آب نیز قرار گرفتند تا مدهای ارتعاشی محلی برخی از اعضای سازه نیز بدست آید. خرابی ها به سه صورت سوراخ شدن و آبگرفتگی در یک عضو قطری، تضعیف اتصال یک عضو قطری و جدایی کامل یک عضو قطری ایجاد شد. نتیجه حاصله نشان داد که تنها جدایی کامل یک عضو قطری از سکو را می‌توان با استفاده از تغییر در فرکانسهای طبیعی کل سازه تشخیص داد و دو خرابی دیگر با استفاده از تغییر در مودهای محلی قابل شناساسیی هستند. همینطور نشان داده شد که هر خرابی تنها در صورتی با تغییر در مد های ارتعاشی کل سازه قابل تشخیص است که بتواند حداقل ۵٪ سختی کل سازه را کاهش دهد. نتیجه دیگر آن بود که فرکانسهای تشدید کلی با ۱٪ خطا قابل اندازه گیری هستند ولی این خطا در فرکانسهای محلی به ۲٪ تا ۳٪ می‌رسد. در پایان باز هم توصیه میشود که اندازه‌گیری فرکانسها همراه با شناسایی مودهای مربوطه باشد تا نتیجه بهتری حاصل گردد.

مطالعات انجام شده در ردیف ۱ از جدول (۴) را شاید بتوان نقطه آغاز این بررسی‌ها برای سازه‌های دریایی دانست. در آن زمان مدلسازی سکو با نرم افزارهایی صورت گرفته است که ماتریس جرم اعضا را به صورت قطری فرض نموده است و مقدار اختلاف نتایج تئوریک و آزمایشات نیز حدود ۳ تا ۱۷ درصد متغیر بوده و این اختلاف به عنوان آسیب تشخیص داده شده است. در کارهای سالهای بعد بر روی سکوها با همان فرضیات درصد تاثیر تغییرات ناشی از پارامترهای مختلف بررسی و مجددا مقدار تغییرات فرکانس ارزیابی گردید. در این بررسی ها مجدداً اشکال مدلسازی و اختلاف فرکانس‌های ناشی از مدلسازی و نیز ابهام در داده‌ها به نحوی که امکان تصمیم گیری قطعی نباشد به چشم می‌خورد. یکی از تحقیقاتی که نتایج قابل قبولی برای سکوهای دریایی در این زمینه داشته است ردیف ۷ از جدول (۴) می‌باشد. پس از اینکه پاره‌ای مشکلات تئوریک در تشخیص آسیب خود را نشان داد, توجه پژوهشگران در طی سالهای ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۵ به آزمایش در محیط لابراتوار و گسترش مفاهیم تئوریک افزایش یافت. در اوایل دهه ۱۹۸۰، روشهای یک دهه قبل برای بررسی دقیق مترود دانسته شد [۱۲]. در این روشها در سالهای مذکور تحلیل خطا صورت نگرفته است و از شکل مود استفاده نشده است. همانگونه که در جدول (۴) نشان داده شده است، در انتهای این دهه (سال ۱۹۸۰) به اهمیت توجه به تغییر در شکل مودها توجه شده است. با این روشها وقتی می‌توان تشخیص آسیب داد که تغییر معنی داری در فرکانسها ایجاد شده باشد. در نهایت نتیجه گیری شده است که روشهای بهتری باید برای تشخیص آسیب ابداع گردند [۱۳].

تحقیقهای مهم انجام شده در طی سالهای ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۵ بصورت خلاصه در جدول (۵) ذکر شده است.

جدول ۵: تحقیقهای انجام شده برای تشخیص آسیب در سکوها در طی سالهای ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۵ میلادی

ردیف	محقق	سال	شرح خلاصه
۱	دووگان و والاس [۱۴]	۱۹۸۱	بررسی تغییرات در فرکانسها با خذف اعضا- نتایج مشابه قبلی حاصل گردید.
۲	کروهاس و لِپرت [۱۱]	۱۹۸۳	دستگاه اندازه گیری ارتعاش برای تعیین پاسخ فرکانسی عضو-دستگاه نشان داد که سوراخ شدن و آبگرفتگی یک عضو باعث تغییر فرکانس طبیعی آن عضو تا ۱۰ درصد میگردد حال آنکه تاثیری بر اعضای کناری ندارد.
۳	ناتاراجا [۱۱]	۱۹۸۳	مونیتورینگ ۳ سکو واقع در دریای شمال با استفاده از ۵۵ شتاب سنج که برخی از آنها در زیر آب بودند، تحت تحریکهای محیطی برای مدت ۲ سال- هدف از انجام این بررسی مزیتهای اقتصادی این روش بود. در پایان این گزارش مشخص گردید که تنها اولین فرکانس طبیعی سکو قابل اندازه‌گیری با قطعیت می‌باشد. همچنین مشخص گردید که تغییرات حاصل از تغییر جرم عرشه با این روش قابل شناسایی است که در

			این صورت می‌توان این تغییرات را از تغییرات فرکانس طبیعی ناشی از خرابی اعضا، جدا نمود. در نهایت تنیجه میشود که اندازه گیری با استفاده از شتاب سنجهای بالای سطح آب تنها نمایانگر تغییرات کلی و بزرگ در سکو ها است. همچنین نتایج آزمایش ارتعاشات محیطی را وابسته به شدت ارتعاشات دانسته است .در این رساله موضوع به صورت دقیق بررسی شد و نشان داده شد که در طول زمان به دلیل رفتارهای غیر خطی سازه, فرکانس می‌تواند تغییراتی نسبت به زمان داشته باشد.
۴	ویتام و دادز [۱۱]	۱۹۸۳	مونیتورینگ پاسخ یک سکو به تحریکات محیطی که برای مدت ۲/۵ سال- این اندازه گیریها با ۸ شتاب سنج در ۲ ارتفاع مختلف بالای سطح آب انجام شد و نشان داد که فرکانس طبیعی سکو در طول این دوره تنها به اندازه ۱/۵٪ تغییر داشته است. همچنین با استفاده از این اطلاعات یک مدل عددی برای سکو تهیه گردید و انواع خرابی ها در آن مدل ایجاد شد. با تحلیل این مدل مشخص شد که تغییر در فرکانس طبیعی سکوی آسیب دیده خیلی بیشتر از تغییرات اندازه گیری شده در سکوی مورد نظر است . لذا تغییرات اندازه‌گیری در فرکانس طبیعی سکوی مورد نظر مربوط به تغییرات جرم عرشه آن در طول مدت مونیتورینگ میباشد.
۵	یانگ و همکاران [۱۱]	۱۹۸۴	آزمایش بر روی یک مدل سکو مقیاس شده- در این آزمایشها تحریک اتفاقی به سه محل مختلف این مدل به صورت افقی و در بالای سطح آب وارد و پاسخ شتاب در ۴ نقطه اندازه گیری شده است. حالت های مختلف از خرابی از جمله ترک، خرابی اتصالات، تغییر شرایط پی ، تغییر جرم عرشه و مشابه سازی جرم ناشی از جانداران دریایی به این مدل اعمال شده است. روش استفاده شده (Random Decrement) می‌باشد. نویسندگان این مقاله فقط به اعلام نتایج این تست ها اکتفا نموده و در مورد ارتباط آنها با خرابیها مطلبی منتشر نکرده اند. در پایان مشخص گردید که این روش از توانایی کافی برای کشف عیب و نوع آن در سکو ها برخور دار نیست اما تأثیر موضعی خرابی بهتر قابل تشخیص است.
۶	اوزاگودا [۱۱]	۱۹۹۲	آزمایشهایی را بر روی یک مدل سکوی ثابت درون تانک آب انجام داد. سه نوع خرابی به وسیله بریدن یک عضو از سکو به مدل اعمال گردید و در هر حالت تحریک اتفاقی به بالای سکو اعمال و پاسخ سازه به آن تحریک توسط ۲۴ شتاب سنج، یکبار با تانک پر از آب و بار دیگر با تانک بدون آب ثبت گردیدکه به وسیله آن فرکانس تشدید سازه اندازه گیری شد. نتایج بدست آمده نشان میدهد که با اعمال خرابی، فرکانس تشدید در سازه کاهش پیدا می‌کند. همچنین توصیه میشود که برای نتیجه بهتر لازم است که شکل مد مربوط به فرکانس طبیعی بدست امده نیز محاسبه گردد.
۷	سوامیداس و چن [۱۱]	۱۹۹۲	ارائه روشی برای عیب‌یابی در یک سکوی مدل سه پایه- آنها تغییرات شکل مد و نسبت های میرایی را با استفاده از پاسخ فرکانسی سیستم اندازه‌گیری و محل خرابی را با توجه به جایی که حسگرها بیشترین تغییر را گزارش میدهند، پیدا میکنند.
۸	برینکر [۱۱]	۱۹۹۵	اندازه گیری بر روی یک سکوی واقعی دارای پایه بتنی و عرشه فلزی جهت تعیین تغییرات فرکانس طبیعی در مود های اول و دوم ارتعاشی- نتیجه گیری شد که تغییرات خیلی زیاد در فرکانس طبیعی عمدتاً به دلیل تغییرات جرم سکو در اثر رسوب و تغییرات شرایط پی آن می‌باشد.
۹	کیم و استابز [۱۵]	۱۹۹۵	ارائه الگوریتمی برای تعیین خسارت در سکوها با داشتن داده‌های مودی محدود برای سکوی آسیب دیده

تحقیقات انجام شده در این ۱۵ سال نتیجه بهتری نسبت به دهه ۷۰ میلادی نشان نمی‌دهد. با توجه به جدول (۵) مشاهده می‌شود که در اکثر موارد اندازه‌گیری تغییر در فرکانس طبیعی سازه و شکل مودها روش اصلی برای عیب یابی در سکو های دریایی بوده است و تنها در ردیف ۵ روشی ابداعی استفاده کرده است. روشهایارائه شده فقط تا حدودی می‌تواند وجود یا عدم وجود خرابی را در سکو نشان دهد و از محل و نوع آن خرابی اطلاعی بدست نمی‌دهد. تنها یک مقاله ردیف ۷ تا حدودی به تعیین محل خرابی توجه شده است. معیار مقایسه اطلاعات جهت تعیین خراب یا سالم بودن سکو نیز تا حدودی نامعین است. در بعضی از مقالات از مقایسه نتایج تجربی و تحلیلی و در بعضی دیگر اطلاعات سکو را در فواصل زمانی مختلف با خود سکو مقایسه می‌کنند که افزایش جرم سکو به دلیل چسبیدن رسوب دریایی به آن و همچنین شرایط مختلف کاری مقایسه اطلاعات بدست آمده با خود سکو در فواصل طولانی را با اشکال مواجه می‌سازد. همچنین به دلیل خطا درمدلسازی، مقایسه اطلاعات بامدل المان محدود نیز مشکلاتی دارد.

از سال ۱۹۹۵ تا کنون تغییرات بیشتری در این علم صورت گرفته است. از سالهای ۱۹۹۹ روشهای ارتعاشات محیطی [۱۶] مورد توجه مجدد قرار گرفته است. همچنین بررسی پاسخ سازه نیز با فرض تعداد محدود برداشت از مودها مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۷]. نتایج تحقیقات سالهای اخیر در جدول (۶) ارائه گردیده است.

جدول ۶: تحقیقهای انجام شده برای تشخیص آسیب در سکوها از سال ۱۹۹۵ تا کنون

ردیف	محقق	سال	شرح خلاصه
۱	مانگال و همکاران [۲۱]	۱۹۹۶	تشخیص آسیب در سکوهای دریایی با استفاده از شبکه عصبی
۲	ویرو و رویتمان [۱۸]	۱۹۹۹	تشخیص آسیب و تغییر در جرم عرشه در دو سکوی مقیاس شده آزمایشگاهی با در نظر گرفتن تغییر در بردارهای مودی سازه آسیب دیده- نتیجه گیری شد که با نصب حسگرها در تراز بالای آب و برآورد تغییر در بردارهای مودی به روشهای مختلف می‌توان آسیبهای وارد به سکو تشخیص داد.
۳	مانگال و همکاران [۱۹]	۲۰۰۱	تشخیص آسیب و تغییر در جرم عرشه در دو سکوی مقیاس شده آزمایشگاهی با تعیین پاسخ ناشی از اثر ضربه و همچنین ارتعاش آزاد سکو با ایجاد جابجایی اولیه در آن- نتیجه گیری شد که با توجه به عملی بودن دو روش مذکور برای ارتعاش سکوهای واقعی، هر دو روش تحریک توانایی لازم برای تشخیص آسیب را دارا هستند. از تغییر در بردارهای مودی سازه برای تشخیص محل آسیب استفاده شده است.
۴	موراد و همکاران [۲۲]	۲۰۰۱	تشخیص آسیب در سکوهای دریایی با استفاده از دو شبکه عصبی که بر مبنای ملهای المان محدود آماده شده و قابلیت تشخیص آسیب و تعیین نوع آن را

			برای سازه های دریایی دارد.
۵	غفوری پور و آقاکوچک [۱]	۲۰۰۲	در این پژوهش نظریه‌هایی در زمینه تشخیص سیستم سازه سکوهای دریایی با استفاده از آزمایشات ارتعاش محیطی پیشنهاد شده است و برای تشخیص آسیب سازه با استفاده از نتایج این آزمایشات مطالعاتی صورت گرفته است. سازه مورد مطالعه توسط غواصها نیز بازرسی زیرآبی گردید و تحقیق به صورت عملی آزمون تجربی شده است. دست‌آوردهای این پژوهش شامل اصلاح و تدوین روش شناسایی سیستم سازه برای سکوهای دریایی فولادی و بررسی امکان تدوین روش تشخیص آسیب در سکوهای دریایی و گسترش روش استراتژی بازرسی زیر آبی بر مبنای آزمایشات ارتعاشات محیطی است. نرم افزار SIJACKET به عنوان ارائه جمع بندی مهندسی از روش شناسایی در این تحقیق تهیه و ارائه شده است.
۶	آلام و سوامیداس [۲۰]	۲۰۰۲	تشخیص ترک در سکوهای ثابت دریایی با توجه به تغییر در پاسخ جابجایی و کرنش بر اساس مدلسازی تحلیلی سازه دارای ترک
۷	دیاوو، لی و همکاران [۲۳]	۲۰۰۵	تشخیص آسیب در سکوهای دریایی با استفاده از شبکه عصبی هوشمند
۸	لی و همکاران [۲۴]	۲۰۰۵	تشخیص آسیب در سکوهای دریایی با استفاده از تبدیل ویولت پاسخ شتاب سازه آسیب دیده - برای تشخیص آسیبهای حتی کوچک کاربرد خوبی داشته و از دقت بالایی برخوردار است.

ابزار شناخت آسیب بر اساس آخرین نتایج موجود شامل حسگرهای شتاب سنج, پیزوالکتریک, کرنش سنج‌های سیمی یا با مقاومت الکتریکی, شتاب سنجهای معمول و بالاخره در سالهای اخیر از حسگرهای متصل شده با فیبر نوری برای ثبت داده‌های زیاد با کانالهای مختلف استفاده شده است. سیستم‌های بی‌سیم نیز برای ثبت داده‌های ارتعاشی از سازه های بزرگ در سال ۱۹۹۸ مورد بررسی قرار گرفته است. هنگامی که از ارتعاشات محیطی استفاده می‌گردد، تمام حسگرها در شرایط محیطی یکسان داده‌ها را ثبت می‌کنند و در این حالت تعداد حسگرها موقعیت نصب آنها را تعیین می‌کنند.

جمعبندی روشهای مختلف

روشهای تشخیص آسیب با استفاده از ارتعاشات بر مبنای این اصل ایجاد شده‌اند که در آن سختی, جرم و تغییرات انرژی در سیستم دچار تغییراتی نسبت به حالت اولیه میشوند که با اندازه گیری پارامترهای دینامیکی می‌توانند مشخص شوند. آشکارسازی سلامت سازه اصطلاحی است که به بررسی سازه در طول زمان اتلاق می‌گردد. این روش به صورت یک برنامه مدون قابل اجرا است[۱۲]. آخرین پژوهش‌ها نشان می‌دهد که روش آشکار سازی سلامت سازه با سه سوال قابل بررسی است.

- آسیب چگونه برای یک سیستم تعریف می‌گردد و برای احتمال آسیب‌های متعدد چه ارتباطاتی میتواند وجود داشته باشد؟
- شرایط محیطی و عملیاتی بر روی سازه چیست و در چه شرایطی بهتر می‌توان سیستم را آشکار سازی کرد؟
- محدودیت‌های جمع آوری داده چیست؟

از طرفی شرایط برداشت داده‌ها, تعداد و نوع حسگرهای لازم, موقعیت نصب حسگرها, شرایط محیطی لازم برای ثبت ارتعاش, نوع پنجره های لازم برای تحلیل داده‌ها, نحوه میانگین گیری‌ها از نتایج داده‌ها, سخت افزار و نرم افزار مورد نیاز برداشت داده و نوع آسیب مورد بررسی دارای اهمیت میباشد. برای مثال برای تشخیص ترک ناشی از خستگی, برداشت باید با فاصله زمانی کوتاه و ممتد انجام شود[۱۲].

مسأله تعیین فواصل لازم برای آشکارسازی تاکنون در مطالعات بررسی نشده است. برای بررسی آسیب, خواص مودال, تغییرات شکل مود, ماتریس نرمی یا سختی سازه با توجه به مدل المان محدود قابل استفاده است که هر کدام به شرح زیر بررسی میگردد. روشهای اعلام شده آخرین متدهای ثبت شده‌ای هستند که در حال مطالعه می-باشند [۱۲].

- روش استفاده از مقادیر ویژه

در این حالت از تغییرات فرکانس و شکل مود سازه استفاده شده و در آن با داشتن طیف ورودی و خروجی می‌توان خواص مودال را تخمین زد. در حالت کلی چنین نتیجه گیری شده است که تغییر در فرکانس نمی‌تواند اطلاعات دقیقی از آسیب ارائه نماید. در سازه‌های بزرگ حساسیت کمی برای تغییر فرکانس وجود دارد و این موضوع نیز بر

سکوهای دریایی در دهه ۷۰ مطالعه شد (جدول ۴). این روش عموماً با مقایسه سازه واقعی و مدل تئوری بکار گرفته شده است و روشهای ارتعاش محیطی نیز بر این اساس استوار بوده است.

- روش استفاده از بردارهای ویژه

از شکل مود برای تشخیص آسیب با توجه به اختلاف شکل مود قبل و بعد از آسیب سازه در سازه واقعی و یا در مقایسه با مدل تئوری استفاده می‌شود. با استفاده از این خاصیت مودی بهتر می‌توان محل آسیب را تشخیص داد. بر اساس جمع بندیهای انجام شده این روش نیز نمی‌تواند در مودهای کلی سازه محل آسیب را نشان دهد.

- روش مقایسه بردار ویژه تئوری و واقعی

روش تغییر انحنا شکل مود سازه نسبت به تئوری نیز از روشهای دیگر است. این واقعیت که مشتق انحنا شکل مود نسبت به انحنا مود دارای حساسیت بیشتری میباشد در سازه هایی مانند صفحات یا تیر می‌تواند به عنوان مبنایی برای تشخیص آسیب بکار رود. از طرفی همبستگی مشتق شکل مود و انرژی کرنشی نیز می‌تواند اندیس خرابی فرض گردد. مقایسه تغییرات فرکانس و شکل مود نشان می‌دهد که ناشناخته های تغییر فرکانس نسبت به شکل مود کمتر است ولی هر دو فاکتور دقت کمتری نسبت به انحنا مود (مشتق مود) دارند.

- روش اندازه گیری ماتریس نرمی دینامیکی

روش اندازه گیری ماتریس نرمی دینامیکی برای آسیب شناسی میتواند بکار رود. ماتریس نرمی دینامیکی از روی شکل مودهای نرمالیزه شده با جرم ماتریس قطری مقادیر ویژه اندازه گیری شده بدست می‌آید. فرمول بکار رفته به دلیل عدم امکان اندازه گیری تمام مودها تقریبی خواهد بود. با مقایسه سازه سالم و آسیب دیده در مقدار این ماتریس می‌توان آسیب را تعیین کرد و به دلیل درجه دو بودن مقادیر ویژه حساسیت روش بسیار زیاد است.

- روش بهنگام کردن پارامترهای مدل

روش دیگر تشخیص آسیب بر اساس رابطه بین تغییرات جرم, سختی و میرایی نسبت به مدل تئوریک میباشد. این روشها بر اساس همسازی ماتریس تئوری و جرم با روشهای اغتشاش کار میکند و مدلهای زیادی از نظر ریاضی تاکنون گسترش یافته است و محبوبیت زیادی نزد محققین خصوصاً در بخش هوا فضا داشته است. روشهای ثبت طیف یا رکورد ارتعاش سیستم و مقایسه کردن و بهنگام کردن رکوردها نیز بسیار موفق بوده‌اند و برای تجهیزات

صنعتی در سالهای متمادی از آن بهره‌برداری شده است. این روش برای آشکارسازی در صنایع و کارخانجات با استفاده از تغییرات طیف در زمان بکار برده شد و هم اکنون در بخش های هوا- فضا رایج و در حال گسترش میباشد. روشهای به هنگام سازی به گروههای قلمرو زمان، قلمرو زمان و فرکانس و قلمرو فرکانس تقسیم می‌شوند.

روشهای غیرخطی بر اساس بررسی رفتار سیستم در زمان و غیر ایستایی آن استوار است.در این روشها باید بین رفتار غیر خطی عمومی سیستم و رفتار ناشی از آسیب سیستم بتوان تفاوت قائل شد. آنچه که در مطالعات آینده مهم می-باشد، تعیین مرزی بین تغییرات فرکانس به دلیل آسیب سازه یا سایر عوامل برای هر نوع سازه است. ضمنا روشهای کمی تاکنون توانسته است سرچشمه رفتار غیر خطی را تعیین کند. روشهای قلمرو زمان و فرکانس از سالهای ۱۹۹۸ به بعد مورد توجه قرار گرفتند. روشهای قلمرو زمان بر اساس شدت قله های ارتعاش و تحلیل قله های رکورد کار میکند و بیشتر برای صنایع و موتورها و بلبرینگها دارای کاربرد است.

- مدلهای آماری

مدلهای آماری تشخیص آسیب عمدتاً بر این نظریه استوار هستند که مقدار آسیب را بصورت کمی نشان دهند و با استفاده از بهینه سازی و رگرسیون کار می‌کنند. حالت آسیب با پنج مرحله موجودیت آسیب، محل آسیب، نوع آسیب، شدت آسیب و میزان عمر مفید باقیمانده قابل توصیف است. برای بررسی موارد فوق باید حالت آسیب مشخص گردد و روشهای آماری میتواند پاسخ پنج سوال را داده و روشهای تست دینامیکی فقط میتوانند به دو سوال اول پاسخ دهد. مشخص شدن نوع آسیب فقط با معلوم بودن آن و همبستگی رفتار سازه با نوع آسیب قابل شناسایی است. برای بررسی شدت آسیب همبستگی مدل‌های ریاضی متوانند سودمند باشند. برای تحلیل آسیب سه کلاس مختلف تحلیل آماری وجود دارد که هر کدام قابلیت های مختلف دارد

- استفاده از شبکه عصبی

با توجه به جدول (۶) جزو روشهای جوان برای تشخیص آسیب محسوب می‌شود. با آماده سازی یک شبکه مناسب بر مبنای اطلاعات صحیح (ناشی از تحلیل و یا آزمایش) می‌توان موجودیت آسیب، محل آسیب، نوع آسیب و شدت آسیب را به خوبی تشخیص داد.

- استفاده از تبدیل ویولت

جوانترین روش برای تشخیص آسیب محسوب می‌شود. کاربرد آن در سازه های دریایی در مرحله تحقیق بوده ولی قادر به تشخیص آسیبهای جزئی است.

نتیجه گیری

موضوع تشخیص آسیب و یا تشخیص سلامتی سازه (Structural Health Monitoring) با روش آزمایشهای ارتعاشی را می‌توان کاملاً علمی نوپا دانست که قدمت آن به حدود ۳۵ سال می‌رسد. در نتیجه تا رسیدن به روش‌های مشخص در هر زمینه بازرسی به نحوی که مورد قبول تمام محققین و مهندسین باشد، راهی طولانی در پیش است.

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که برای تشخیص سلامت سازه نیاز به اطلاعات کافی از هر نقطه از سازه می‌باشد و تحقیقات انجام شده در طی سه دهه گذشته بیانگر آن است که برای استفاده از روشهای ارتعاشی برای تشخیص آسیب تعداد حسگر و داده‌های آن باید کافی باشد تا بتوان به نتیجه لازم دست یافت. در آزمایشهای سازه‌های دریایی برخلاف تجربیات موجود در سازه‌های هوا فضا یا پل امکان ثبت داده در تمام نقاط وجود ندارد (تراز بالای آب) و در نتیجه در غالب موارد تعداد مودها به صورت محدود و ناکامل برداشت می‌شود و بردار شکل مود سازه برای تمام نقاط کامل نیست.

از طرفی تشخیص آسیب‌های بسیار جزیی به دلیل برداشت ناقص ممکن است تا حدودی ناممکن باشد و برای تشخیص دقیق آسیب و محل آن نیاز به نصب حسگرهای ویژه در تمام نقاط می باشد. چنانچه بتوان از نتایج تحقیق-های انجام شده استفاده نمود و در جهت بهبود این روشها گام برداشت, امکان انجام بازرسی زیر آبی هدفدار شده و هزینه بازرسی های اضافی کاهش می یابد و اطمینان بیشتری نیز نسبت به نتایج بدست خواهد آمد. و برای کشور ما که جزو مهمترین صادرکنندگان نفت و گاز است، تحقیق پیرامون تشخیص آسیب در سکوهای دریایی منجر به افزایش طول عمر این سازه‌ها می‌گردد.

مراجع

[۱] غفوری‌پور، امین، ۱۳۸۱، "شناسایی سکوهای دریایی با روش اندازه‌گیری مشخصه های دینامیکی (با استفاده از ارتعاشات محیطی)"، رساله دکترای تخصصی مهندسی عمران-سازه به راهنمایی دکتر علی اکبر آقاکوچک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران

[۲]رزازیان، مجید، ۱۳۶۹، "آموزش بازرسیهای زیر آبی"، آموزش نیروهای انسانی، شرکت ملی نفت، تهران

[3] Watt A.M., Sub sea Int. Inc., Walther K.G., Magfoil& I. T.Gmbh, May 1989, "A New Controlled Method For Conducting Magnetic Particle Inspections", Offshore Tech. Conf. [OTC], 5986, P.P. 269-276.

[4] Remotely Operating vehicle [R.O.V], 2001, "New products", <www.cambertx.com>.

[5] Hughes D., Amoco Co., Mark Paull , Ken-Mcgee Co., Michael Serafin, ROV Tech. Co., Graham Openshow, Sonsub International Inc., Graeme Smith,Sonsub Service Pty. Ltd., Luhua, May 1996, "Development ROV Interventions", Offshore Technology Conf. [OTC], 8185, P.P. 337-347.

[6] Lovaas S., Huagland H.,Otteren A., Norsk Hydro, Structural Monitoring, April 1987, "Underwater Test Instrumentation And Different Methods During Fatigue Of A T-Node", Offshore Tech. Conf., [OTC], 5565, P.P. 125-128.

[7] Tzou H.S.,Fu H.Q., 1994, "A Study Of Segmentation Of Distributed Piezoelectric Sensors And Actuators Part I; Theoretical Analysis", Journal Of Sound & Vibrations,No.172- P.P. 247-259.

[8] Tzou H.S.,Fu H.Q., 1994,"A Study Of Segmentation Of Distributed Piezoelectric Sensors And Actuators Part II ;Parametric Study & Active Vibration Control", Journal Of Sound & Vibrations, No.172 - P.P. 261-275.

[9] Aghakouchak A.A., Ghafooripour Amin, Kiamehr H., 2000, "An overview of System Identification methods and applications – Part I – Methods of SI and dynamic tests", Bandar Abbass, Iran, 4th International conference on coasts ,ports and marine structures , ICOPMAS ,PP. 234.

[10] Aghakouchak A.A., Ghafooripour Amin, Kiamehr H., 2000, "An overview of System Identification methods and applications – Part II – Theory & type of tested structures, history and prospective of System Identification", Bandar Abbass, Iran, 4th International conference on coasts ,ports and marine structures , ICOPMAS ,PP. 236.

[11] Scott W. Doebling, Charles R. Farrar, Michael B. Prime, Daniel W. Shevitz, May 1996, "Damage Identification and Health Monitoring of Structural and Mechanical Systems from Changes in Their Vibration Characteristics: A Literature Review", Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico 87545, 134 Pages.

[12] Scott W. Doebling, Charles R. Farrar, and Michael B. Prime, 2002, "A Summary Review of Vibration-Based Damage Identification Methods", Engineering Analysis Group, Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM

[13] Kenley Richard M., Dodds Colin J., 1980, "West Sole We Platform: Detection of Damage by Structural Response Measurements", Texas, 12th Annual OTC, OTC 3866, P.P. 111-118.

[14] Duggan Donald M., Wallace Eric R., Caldwell Stan R., 1981, "Measured Vibrational Behavior of a Gulf of Mexico Platform", Texas, 13th Annual OTC, OTC4137, P.P. 199-210.

[15] Jeong-Tae Kim and Norris Stubbs, "Damage Detection in Offshore Jacket Structures from Limited Modal Information", International Journal of Offshore and Polar Engineering, Vol. 5, No. I, March 1995.

[16] Chiang Dar-Yun, Cheng Ming-Si, 1999, "Modal Parameter Identification from Ambient Response", AIAA Journal, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Vol. 37, No. 4, P.P. 513-515.

[17] James G., Zimmerman D., Cao T., 1998, "Development of a Coupled Approach for Structural Damage Detection with Incomplete Measurements", AIAA Journal, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Vol. 36, No. 12, P.P. 2209-2217.

[18] Paula F. Viero, Ney Roitman, 1999, "Application of some Damage Identification Methods in Offshore Platforms", Journal of Marine Structures, Vol. 12, P.P. 107-126.

[19] Lalu Mangal a, V.G. Idichandy b, C. Ganapathy, 2001, "Structural Monitoring of Offshore Platforms Using Impulse and Relaxation Response", Ocean Engineering, Vol. 28, P.P. 689–705.

[20] Md. Rabiul Alam and A.S.J. Swamidas, 2002, "A Non-Destructive Crack Detection Method for Steel Jacket Offshore Platforms based on Global and Local Responses", Can. J. Civ. Eng, Vol. 29(1), P.P. 85-97.

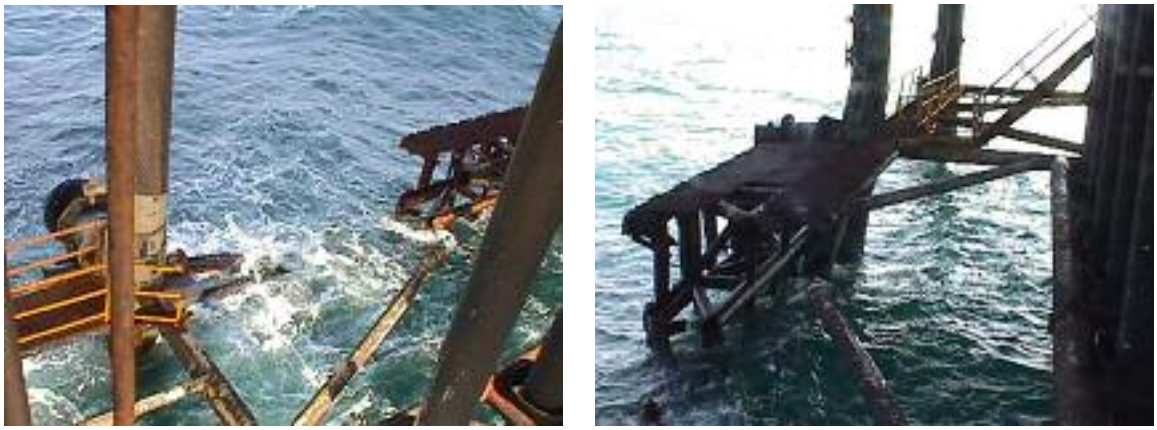
[21] Lalu Mangal, V. G. Idichandy and C. Ganapathy, April-June 1996, "ART-Based Multiple Neural Networks for Monitoring Offshore Platforms", Applied Ocean Research, Volume 18, Issues 2-3 , P.P. 137-143.

[22] S. A. Mourad, A. W. Sadek, A. F. Batisha, 2001, "Structural Health Monitoring of Offshore Structures", Proceedings of the sixth international conference on Application of artificial intelligence to civil & structural engineering.

[23] Yan-Song Diao; Hua-Jun Li; Xiang Shi; Shu-Qing Wan, Aug. 2005, Damage Localization for Offshore Platform by Neural Networks", Machine Learning and Cybernetics, Proceedings of 2005 International Conference, Volume 8, Issue 18-21, P.P. 4724-4730.

[24] Li Dong-sheng, Zhang Zhao-de, Wang De-yu, 2005, "Damage Detection Methods for Offshore Platforms Based on Wavelet Packet Transform", China Ocean Engineering, Vol.19, No.4, P.P. 701-710.

شکل ۱: تأثیر امواج بر روی پایه های سکو در ناحیه Splash Zone عامل خستگی اتصالات، خوردگی اعضا و کاهش مقاومت اتصالات در این ناحیه است.



شکل ۲: آسیب های وارد به سکو بدلیل انفجار و ضربه کشتی در محل پهلوگیری شناورها که موجب از بین رفتن قسمتی از اعضای افقی گردیده است.

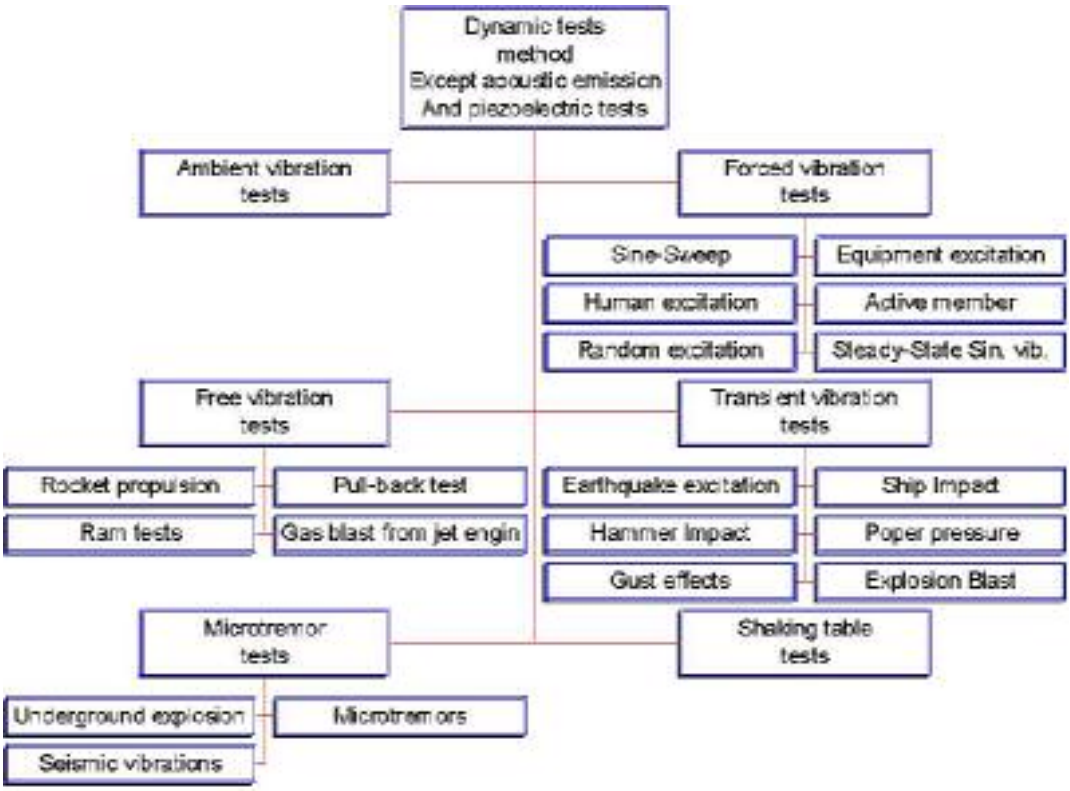
شکل ۳: وضعیت سوراخ شدن اعضای بالای آب

شکل ۴: خوردگی اعضا در تراز بالای جاکت

شکل ۵: آسیب های وارد به سکو بدلیل انفجار در عرشه (راست) و ترمیم ستون منفجر شده و تسریع خوردگی اعضا ناشی از آتش سوزی (چپ)

شکل ۶: بررسی وضعیت اتصالات در اعضای زیر آب توسط غواص

شکل ۷: دستگاه ROV



شکل ۸: روش‌های انجام آزمایشات دینامیکی