

شناسایی مکان و شدت آسیب در یک نمونه سکوی شابلونی واقع در خلیج فارس با استفاده از روش انرژی کرنشی مودال بهبود یافته

مهدی علوی نژاد^۱، مجید قدسی حسن آباد^{۲*}، محمد جواد کتابداری^۳ و مسعود نکویی^۴

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۱۹ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۰۹	سکوی فروزان یکی از مهم ترین سکوهای فراساحلی ایران است که در مرز مشترک ایران با عربستان سعودی قرار دارد. با گذشت زمان، احتمال وجود آسیب در اعضای این سکو بیشتر می گردد. افزایش میزان آسیب در نتیجه عدم شناسایی به موقع آن به ویژه در نواحی حساس نظیر عرشه، اتصالات و ناحیه پاشش که بیشتر در معرض آسیب هستند منجر به افزایش خسارات احتمالی می گردد. یکی از پرکاربردترین روش های پایش سلامت سازه ها، شاخص خرابی مبتنی بر انرژی کرنشی مودال است که به نام شاخص استابس شناخته می شود. در سالیان اخیر، اصلاحاتی بر نسخه اولیه این روش صورت گرفته که یکی از آن ها، در نظر گرفتن فرکانس های طبیعی در تعیین مکان آسیب است. در این مقاله با استفاده از روش انرژی کرنشی مودال بهبود یافته و با در نظر گرفتن فرکانس های طبیعی در تعیین مکان آسیب، به شناسایی مکان و تعیین شدت آسیب در سکوی فروزان پرداخته خواهد شد. یکی از تفاوت های این تحقیق با تحقیقات مشابه، تعداد زیاد اعضای سکوی واقعی است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که روش بهبود یافته دقت بالاتری در مکان یابی آسیب نسبت به روش اولیه (شاخص استابس) دارد. همچنین، آسیب های تکی و چندگانه، با شدت کم و زیاد، توسط این روش با دقت مناسبی پیش بینی گردید.
واژگان کلیدی: سکوهای دریایی، ناحیه پاشش آب، شناسایی آسیب، انرژی کرنشی مودال بهبود یافته، شاخص استابس.	

۱- مقدمه

در طول مدت بهره برداری از سازه های عمرانی مختلف نظیر ساختمان ها، پل ها، سدها و سکوهای دریایی، به دلیل عواملی نظیر خستگی، بارگذاری های ناگهانی و شرایط محیطی، آسیب های مختلفی در آن ها به وجود می آید [۱]. به منظور افزایش ایمنی و اطمینان از وضعیت موجود سازه ها، تعیین آسیب در سیستم های سازه ای از اهمیت زیادی برخوردار است. خرابی های سازه ای وقتی رخ می دهند که تغییر شکل های دائمی و بزرگی بر اثر بارهای وارده به سازه در آن ایجاد گردد [۲]. شناسایی زود هنگام

آسیب در سازه ها با فراهم آمدن امکان تعمیر و تعویض اعضای آسیب دیده، موجب جلوگیری از ایجاد آسیب های کلی در سازه می گردد. پایش سلامت سازه ها و تشخیص خرابی در بدو این فرآیند، سبب انجام اقدامات به موقع و پیشگیری از پیشرفت خرابی می گردد [۳]. ایده اصلی در پایش سلامت سازه ها، استخراج مشخصات دینامیکی از پاسخ های ثبت شده سازه و شناسایی آسیب با تحلیل این مشخصه ها است. مهم ترین این مشخصه ها فرکانس ارتعاشات، شکل مود، میرایی یا استهلاک انرژی، ماتریس های سختی و نرمی سازه و پاسخ های فرکانسی

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: m.ghodsi@srbiau.ac.ir

۱. دانشجوی دکتری تخصصی، گروه صنایع دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۲. استادیار، گروه صنایع دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

۳. دانشیار، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

۴. استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

هستند که با تحلیل آن‌ها می‌توان رفتار غیر عادی سازه که نشانه‌ی وجود آسیب در آن است را آشکار نمود.

سکوهای دریایی در طول عمر خود تحت اثر بارهای حین ساخت، حمل و نصب، بارهای حین بهره‌برداری نظیر بارهای وارده هنگام حفاری و استخراج، بارهای محیطی نظیر بار باد، موج، یخ و جریان‌های دریایی، بارهای اتفاقی نظیر طوفان، زلزله، آتش‌سوزی و برخورد کشتی قرار دارند. تحت اثر این بارها، سکوها دچار آسیب‌هایی نظیر خستگی در اتصالات و ایجاد ترک در آن‌ها، خوردگی، سوراخ‌شدگی و آب‌گرفتگی اعضا و حتی خرابی کلی و از بین رفتن ناگهانی سکو می‌گردند. این تغییرات را می‌توان از طریق توصیف هندسی (هندسه ترک) و یا به‌صورت اتلاف انرژی یک سیستم توصیف نمود [۴].

یک روش برای شناسایی آسیب در سازه‌ها، روش بصری یا آزمایش‌های موضعی نظیر روش‌های آکوستیکی یا مافوق صوت، روش‌های میدان مغناطیسی، پرتو نگاری، روش‌های گردابه-جریان و روش‌های میدان حرارتی است. پیش‌نیاز این روش‌های تجربی این است که محدوده‌ی آسیب از قبل مشخص بوده و آن بخش از سازه که قرار است تحت بازرسی قرار گیرد، کاملاً قابل دسترس باشد. با توجه به این محدودیت‌ها، روش‌های تجربی تنها می‌تواند آسیب را در سطح یا در نزدیکی سطح سازه شناسایی کند. نیاز به روش‌های جامع و کلی شناسایی آسیب که به سازه‌های پیچیده قابل اعمال باشند، منجر به توسعه روش‌های بررسی تغییرات در ویژگی‌های دینامیکی سازه‌ها شده است.

با توجه به در معرض آسیب بودن سازه‌هایی نظیر پل‌ها، سکوهای دریایی و نظایر آن در طی مدت بهره‌برداری، به‌دلیل وجود بارهای متناوب، توسعه روش‌های اولیه شناسایی آسیب به منظور جلوگیری از شکست احتمالی سازه بسیار مهم است. می‌توان از روش‌های پایش سلامت سازه‌ای (SHM) به‌منظور پایش رفتار سازه استفاده نمود. در بین روش‌های پایش سلامت سازه، روش شناسایی آسیب مبتنی بر ارتعاش (VBDIT) یکی از جدیدترین و بهترین روش‌ها است. ایده اساسی VBDIT این است که آسیب در سازه می‌تواند ویژگی‌های ارتعاشی سازه را تغییر دهد. چنین تغییری را می‌توان به‌منظور تشخیص وجود آسیب، و در ادامه ارزیابی موقعیت و شدت آسیب مورد استفاده قرار داد. در سال‌های اخیر، VBDIT به‌دلیل ذات کلی و غیر مخرب و امکان انجام خودکار فرآیند تشخیص آسیب مورد توجه

زیادی قرار گرفته است. عیب‌یابی سازه بر اساس تغییرات فرکانس‌های طبیعی آن، قدیمی‌ترین و معروف‌ترین روش برآورد آسیب است که بیشترین کاربرد را به‌منظور تخمین آسیب‌ها داشته است، هر چند نارسایی مهم این روش، حساسیت کم تغییرات فرکانس طبیعی نسبت به آسیب است. بر این اساس، اندازه‌گیری فرکانس طبیعی باید دقیق و آسیب‌دیدگی شدید باشد تا تخمین خسارت به درستی صورت پذیرد [۵]. بر مبنای فرکانس، شکل مود و مشتقات آن‌ها، روش‌های مختلفی برای تشخیص آسیب در سازه پیشنهاد شده است. توجه محققان به موضوع انرژی کرنشی مودال دو دلیل عمده دارد. اولاً، انرژی کرنشی مودال که از حاصل ضرب ماتریس سختی در توان دوم شکل مود به‌دست می‌آید، یکی از بهترین پارامترهای مودال به‌منظور توصیف آسیب سازه ناشی از در نظر گرفتن رفتار ارتعاشی سیستم و خصوصیات فیزیکی آن است. ثانیاً، ادبیات فنی زیادی در مورد روش‌های مختلف مبتنی بر انرژی کرنشی مودال منتشر شده است [۶].

تحقیقات بر روی پایش سلامت سازه‌های دریایی از دهه ۱۹۷۰ میلادی آغاز شده است. با توجه به اینکه بازرسی چشمی هیچ‌گونه آسیبی را در بالای خط آب نشان نداد، واندیور (۱۹۷۵، ۱۹۷۷) تغییرات در فرکانس‌های طبیعی مرتبط با دو مود خمشی اول و اولین مود پیچشی را در یک برج فراساحلی سبک به‌منظور شناسایی آسیب ناشی از برخورد یک کشتی مورد بررسی قرار داد [۷، ۸]. بگ و همکاران (۱۹۷۶) به بررسی تغییرات در سه فرکانس تشدید اول یک سکوی چهارپایه تحت تحریکات سینوسی رفت و برگشتی و تصادفی سازه در نتیجه آسیب در تعدادی از اعضا پرداختند [۹]. و جناروفسکی (۱۹۷۷) به بررسی اثرات یازده پارامتر مختلف بر ویژگی‌های دینامیکی یک سکوی دریایی با استفاده از تحلیل المان محدود پرداخت. فرضیات مدل‌سازی فونداسیون، آب وارد شده، رویدنی‌های دریایی، خوردگی، تغییرات در بار عرشه و اعضای سازه‌ای دچار آسیب از جمله برخی از پارامترهای مورد بررسی بودند. نتایج نشان داد که بیشترین تغییرات ناشی از ویژگی‌های خاک فونداسیون بود [۱۰]. به‌عنوان یکی از مطالعات پیشرو در این زمینه، کاولی و آدامز (۱۹۷۹) فرکانس‌های طبیعی سازه را به‌عنوان شاخصی برای شناسایی محل آسیب استفاده نمودند [۱۱]. کوپولینو و رابین (۱۹۸۰) از پاسخ‌های

مودال اندازه‌گیری شده که از تحریکات محیطی یک سکوی هشت پایه دریایی در خلیج مکزیک به دست آمده بود به منظور ایجاد مدل المان محدود استفاده نموده و موارد آسیب را به صورت جدا کردن عضو در مدل عددی اعمال نمودند [۱۲]. داگان و همکاران (۱۹۸۰) با استفاده از ارتعاشات محیطی ثبت شده در سکوه‌های فراساحلی، به مطالعه یکپارچگی سازه پرداخته و نتیجه گرفتند که تغییرات فرکانس ناشی از حذف یا آسیب یک عضو مهاری را نمی‌توان از تغییرات فرکانس ناشی از تغییرات عملیاتی نرمال (به عنوان مثال، شرایط محیطی) تشخیص داد. بنابراین می‌بایست شکل مود را نیز برای بررسی تغییرات آن تشخیص داد و در محاسبات مربوطه لحاظ کرد [۱۳].

شهریور و بوکامپ (۱۹۸۶) از اطلاعات ارتعاشی سازه به منظور شناسایی آسیب در یک سکوی دریایی هشت پایه فولادی استفاده کردند [۱۴]. هانسن و واندرپلاتس (۱۹۹۰) به منظور شناسایی آسیب در سازه از فرکانس و شکل مودهای سازه استفاده نموده و محل و شدت خرابی را تعیین نمودند [۱۵]. دوئبلینگ و همکاران (۱۹۹۳) روشی را بر اساس انرژی کرنشی مودال برای انتخاب یک زیرمجموعه از مودهای ارتعاشی سازه‌های مشخص و تشخیص آسیب سازه‌ای در آن‌ها ارائه کردند [۱۶]. کیم و استابس (۱۹۹۵) الگوریتمی برای مکان‌یابی و تعیین میزان آسیب در سکوه‌های جکت ارائه نموده، به تعیین مکان و تخمین شدت آسیب با استفاده از تغییرات در شکل مودها پرداخته و سپس روشی برای تعیین پارامترهای مودال سازه فرمول‌بندی نمودند که به روش شاخص DI معروف شد [۱۷]. استابس و همکاران از پیشگامان استفاده از مفهوم انرژی کرنشی به منظور شناسایی آسیب در سازه بوده‌اند [۱۸]. در مراحل اولیه توسعه روش DI، شاخص استابس به عنوان محبوب‌ترین ابزار برای تعیین محل آسیب استفاده شد و بنابراین غالباً از شاخص استابس به عنوان DI یاد می‌شود [۱۹، ۲۰، ۲۱]. کیم و استابس (۱۹۹۵) با استفاده از شاخص استابس به شناسایی آسیب در یک سکوی دریایی پرداختند. در این مطالعه، از اطلاعات مودال سازه سالم استفاده نشد و تنها از چند فرکانس طبیعی و شکل مود اول سازه آسیب دیده برای شناسایی آسیب استفاده گردید [۱۷]. کیم و استابس (۱۹۹۵ و ۱۹۹۶) استفاده از روش شاخص خرابی مبتنی بر انرژی کرنشی مودال را برای

سازه‌های تیر مانند پیشنهاد داده، کارایی این روش را بر روی یک پل فولادی بررسی نموده و مکان آسیب را تعیین نمودند [۲۱، ۲۲]. در روش شاخص آسیب، سلامت اعضای سازه از طریق یک شاخص آسیب که از ویژگی‌های مودال و فیزیکی به دست آمده است مورد بررسی قرار می‌گیرد [۲۳]. در روش شاخص استابس نیاز است که شکل مودها پیش و پس از وقوع آسیب مشخص باشند. اگرچه، مقادیر شکل مود نرمال شده با جرم که در بسیاری از اعتبارسنجی‌های عددی و آزمایشگاهی به کار می‌روند، برای محاسبه شاخص آسیب در این روش ضروری نیستند. استابس و همکاران (۱۹۹۵) روش خود را با داده‌های به دست آمده از پل I40 (بزرگراه بین شهری ۴۰ ایالات متحده) مورد ارزیابی قرار دادند [۲۱]. سالاوو (۱۹۹۷) مطالعه‌ای در مورد استفاده از فرکانس‌های طبیعی برای شناسایی آسیب انجام داده و نتیجه گرفت که تنها استفاده از فرکانس‌های طبیعی برای شناسایی محل آسیب کافی نیست، هر چند در شناسایی کلی آسیب می‌تواند مؤثر باشد [۲۴]. پارک و همکاران در سال‌های ۱۹۹۷ و ۱۹۹۸ داده‌های میدانی را بر روی پل I40 جمع‌آوری کردند تا شاخص استابس را بسازند [۲۵]. فرار و جاریگو (۱۹۹۸) پنج روش از روش‌های شناسایی آسیب مبتنی بر مشخصات ارتعاشی، شامل روش شاخص خرابی انرژی کرنشی مودال، روش انحنای شکل مودی، روش تغییر در انعطاف‌پذیری، روش تغییر در انحنای بار یکنواخت سطحی و روش تغییر در سختی را بر روی یک پل فولادی بررسی نموده و نتیجه گرفتند که روش شاخص خرابی انرژی کرنشی مودال دارای دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌های مورد استفاده است [۲۶]. گزارشات اولیه مناسب بودن روش شاخص استابس را برای سازه‌هایی که به صورت کلی به شکل تیر رفتار می‌کنند یا می‌توانند به المان‌های تیر گسسته‌سازی شوند، تأیید نموده‌اند. کورنول و همکاران (۱۹۹۹) این شاخص را به یک سازه‌ی ورق شکل که با منحنی‌های دو بعدی مشخص شده بود، اعمال کردند [۲۷]. کیم و استابس (۲۰۰۲) شاخص خرابی بهبود یافته‌ای را به منظور بهبود دقت شناسایی آسیب در سازه‌های با اعضای زیاد توسعه داده و کارایی آن را بر روی یک تیر دو دهانه آزمایش نمودند [۲۸]. چنگ و همکاران (۲۰۰۲) روشی را برای شناسایی مکان آسیب‌های یک المان صفحه‌ای با استفاده از

کرنتی مودال برای مکان‌یابی دقیق آسیب در یک سازه مورد استفاده قرار گرفته و در مرحله دوم، شدت آسیب با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات با استفاده از نتایج مرحله اول تعیین گردید [۴۰]. لیو و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از تفاضل انرژی کرنتی مودال سازه در حالت سالم و آسیب دیده، برای شناسایی مکان آسیب در پایه‌های توربین بادی، شاخصی بر مبنای انرژی کرنتی مودال ارائه نمودند که نسبت به سایر روش‌های سنتی انرژی کرنتی حساسیت بالاتری داشت [۴۱]. سید پور و یزدان پناه (۲۰۱۴) روشی را برای شناسایی مکان آسیب بر مبنای انرژی کرنتی ناشی از بارهای استاتیکی وارد بر سازه، در دو حالت سالم و آسیب دیده ارائه نمودند. آن‌ها کارایی این روش را بر روی یک خرپای سیزده عضوی یک قاب سه دهانه‌ای و یک خرپای فضایی بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که با اعمال بارگذاری در یک گره از خرپاهای مورد بررسی و محاسبه جابه‌جایی گره‌ها به راحتی شناسایی مکان آسیب امکان‌پذیر است [۴۲]. ونگ و همکاران (۲۰۱۴) از روش انرژی کرنتی مودال برای مکان‌یابی آسیب بر روی یک سکوی دریایی استفاده نموده و نتیجه گرفتند که از میان تمامی روش‌های تشخیص خرابی، دقت روش‌های مبتنی بر انرژی کرنتی مودال در تشخیص محل آسیب، بیشتر از سایر روش‌ها است [۴۳].

مطالعات فوق‌الذکر، نشان دهنده دقت و توانایی بالای روش انرژی کرنتی مودال در شناسایی آسیب در سازه‌های دریایی است. اهمیت و سرمایه‌گذاری بالای انجام شده در تاسیسات نفت و گاز فراساحلی ایران، لزوم بررسی سلامت این سازه‌ها را بیش از پیش نشان می‌دهد. میدان نفتی فروزان که بین ایران و عربستان سعودی قرار گرفته از اهمیت زیادی برای اقتصاد ایران برخوردار بوده و شناسایی هر گونه آسیب در سازه سکو در مراحل اولیه ضروری است. با توجه به عمر عملیاتی بالای سکوه‌های دریایی کشور و وجود آسیب‌های احتمالی در این سکوها، در این مقاله مقایسه‌ای میان دقت روش‌های مختلف شناسایی آسیب، شامل روش شاخص استابس و روش انرژی کرنتی بهبود یافته به منظور امکان استفاده از این روش در شناسایی آسیب‌های واقعی در سکوه‌های دریایی صورت پذیرفت. بدین منظور به صورت موردی، سکوی FY-B مجتمع نفتی فروزان واقع در خلیج فارس مورد مطالعه قرار گرفت. یکی از تفاوت‌های مطالعه حاضر با سایر مطالعات صورت گرفته،

شکل مودهای به دست آمده از روش رایلی ریتز ارائه کرده و با مدل‌سازی عددی و آزمایش تجربی نشان دادند که این روش قابلیت بالایی برای شناسایی آسیب‌های تکی و چندگانه دارد [۲۹]. کیم و استابس (۲۰۰۲) به منظور افزایش دقت تخمین شدت آسیب، با در نظر گرفتن تغییرات سیستماتیک در پارامترهای مودال به دلیل آسیب، یک شاخص آسیب جدید را ارائه دادند [۲۸]. کیم و استابس (۲۰۰۳) از یک روش دو مرحله‌ای شامل شناسایی مکان آسیب در گام اول و تعیین شدت آسیب در مرحله دوم استفاده نمودند [۳۰]. یانگ و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از تغییرات انرژی کرنتی مودال و با استفاده از دو شاخص ضریب تغییر انرژی کرنتی مودال (CMSECR) و نیز ضریب خمشی انرژی کرنتی مودال (FMSECR)، آسیب را در سازه‌های دریایی بر اساس بارهای محیطی مورد بررسی قرار دادند [۳۱]. جی و لوئی (۲۰۰۵) روشی را بر پایه مدل اجزای محدود و با استفاده از خصوصیات دینامیکی سازه که شامل فرکانس‌ها و اشکال مودی بود، به منظور شناسایی و تعیین شدت آسیب ارائه دادند [۳۲]. هو و همکاران (۲۰۰۶) از روش شاخص استابس برای تیرها و ورق‌های چند لایه کامپوزیتی استفاده نمودند [۳۳]. الوندی و کرمونا (۲۰۰۶) چندین روش شناسایی آسیب مختلف را مورد مقایسه قرار داده و دریافتند که روش شاخص استابس بهترین پایداری را در سیگنال‌های دارای نویز دارد [۳۴]. شی و همکاران (۲۰۰۹) روش شاخص خرابی انرژی کرنتی مودال را برای تشخیص آسیب در تیر و صفحه مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که می‌توان از این روش در شناسایی آسیب در شاه‌تیر و عرشه‌پل‌ها که رفتاری نظیر تیر و صفحه دارند استفاده نمود [۳۵]. هو و وو (۲۰۰۹) شاخص آسیب را برای شناسایی آسیب در ورق‌ها بر اساس روش انرژی کرنتی مودال توسعه دادند [۳۶]. هو و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از داده‌های تجربی، روش شاخص استابس را برای ورق آلومینیومی مورد استفاده قرار دادند [۳۷]. لوندسلوت و همکاران (۲۰۱۰) روش شاخص استابس را به ورق کامپوزیت با تقویت کننده اعمال نمودند [۳۸]. هو و لو (۲۰۱۱) از روش شاخص استابس برای شناسایی آسیب در سیلندر توخالی استفاده نمودند [۳۹]. سیدیپور (۲۰۱۲) یک روش دو مرحله‌ای را برای شناسایی دقیق موقعیت و شدت آسیب‌های چند گانه در سیستم‌های سازه‌ای ارائه نمود که در مرحله اول، یک شاخص انرژی

گرفتن برخی تقریب‌ها، این محدودیت رفع شده و رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\beta_j = \frac{\sum_{i=1}^{NM} (\Phi_i^T C_{j0} \Phi_i^* + \sum_{i=1}^{NE} \Phi_i^* C_{ko} \Phi_i) K_i}{\sum_{i=1}^{NM} (\Phi_i^T C_{j0} \Phi_i + \sum_{i=1}^{NE} \Phi_i^* C_{ko} \Phi_i) K_i^*} \quad (4)$$

در این رابطه، NM بیانگر تعداد شکل مودهای در نظر گرفته شده در انجام تحلیل عددی می‌باشد. لازم به ذکر است که به دلیل مشخص نبودن ماتریس سختی سازه و المان‌ها در حالت آسیب دیده، از ماتریس سختی سازه سالم برای هر دو حالت استفاده می‌شود. بنابراین در رابطه بالا نیز از ماتریس سختی سازه سالم استفاده شده است. بعد از به دست آوردن β_j برای هر المان با استفاده از رابطه زیر شاخص آسیب نرمالیزه می‌گردد [۲۸]. در این رابطه، $\bar{\beta}$ بیانگر میانگین شاخص‌ها و σ_β نشان دهنده انحراف معیار مقادیر β_j می‌باشد.

$$Z_j = \frac{\beta_j - \bar{\beta}}{\sigma_\beta} \quad (5)$$

۳- روش انرژی کرنشی مودال بهبود یافته

در تعیین شاخص خرابی استابس تنها از شکل مودها استفاده می‌شود و فرکانس‌های طبیعی در تعیین محل آسیب در نظر گرفته نمی‌شوند. با این وجود، تحقیقات قبلی نشان داده است که فرکانس‌های مودال را می‌توان با دقت بسیار بیشتری نسبت به شکل مودها تعیین نمود. اندازه‌گیری شکل مود دشوارتر از سنجش فرکانس‌های طبیعی است. شکل مود ویژگی یگانه هر سازه بوده و در عمل امکان اندازه‌گیری مودها برای تمام درجه‌های آزادی وجود ندارد. یکی دیگر از مشکلات استفاده از مودها، چگونگی وابسته‌سازی شکل‌های مود تجربی و تحلیلی به هم می‌باشد. لی و همکاران (۲۰۱۶) به منظور بهبود روش استابس، از اطلاعات فرکانس در تعیین شاخص آسیب استفاده نمودند [۴۵]. آن‌ها نشان دادند که کاهش سختی ناشی از وجود آسیب در سازه، فرکانس طبیعی را تحت تاثیر قرار داده و این امر می‌تواند مبنای روش شناسایی آسیب مبتنی بر فرکانس باشد. مزیت مهم این روش، سهولت و آسانی تعیین فرکانس‌های طبیعی است. در واقع با گذاشتن یک حسگر در سازه می‌توان فرکانس‌های گوناگون آن را اندازه‌گیری کرد. لازم به ذکر است، فرکانس‌های طبیعی به تمامی گونه‌های آسیب محلی و کلی حساس می‌باشد.

انتخاب سازه با تعداد زیاد اعضای می‌باشد. همچنین بررسی دقت روش در شناسایی مکان و شدت در آسیب‌های کوچک و چندتایی از ویژگی‌های این مقاله می‌باشد.

۲- تعیین آسیب با استفاده از روش انرژی کرنشی مودال

شاخص خرابی انرژی کرنشی مودال در ابتدا توسط کیم و استابس (۱۹۹۵) [۴۴] به منظور یافتن مکان و شدت آسیب در یک سکوی فراساحلی پیشنهاد گردید. در این روش تنها به شکل مودها پیش و پس از آسیب نیاز است. خرابی در یک سازه معمولا سبب کاهش سختی سازه می‌شود و بر ماتریس جرم سازه تاثیری نمی‌گذارد. در یک سازه خطی، با NE المان و N گره، ماتریس سختی مود Φ سازه‌های سالم و آسیب دیده از روابط زیر به دست می‌آیند [۲۸]:

$$K_i = \Phi_i^T C \Phi_i \quad (1)$$

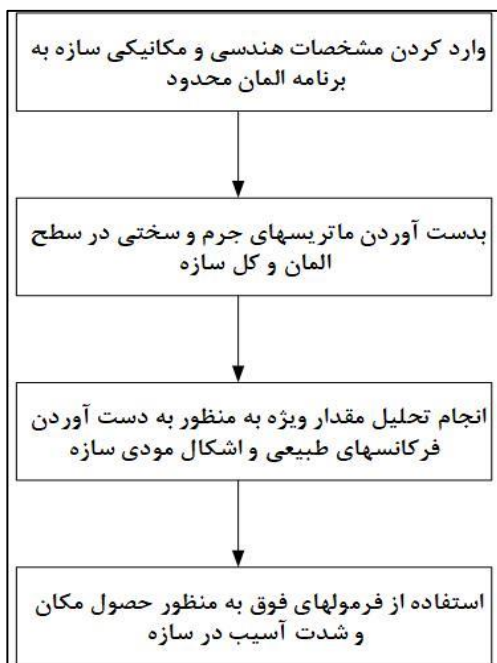
$$K_i^* = \Phi_i^{*T} C^* \Phi_i^* \quad (2)$$

در روابط فوق، C، ماتریس سختی کلی سازه و Φ و بیانگر ماتریس سختی و بردار شکل مود سازه، در المین مود، در حالت‌های سالم و آسیب دیده می‌باشند (در این مقاله حالت آسیب دیده در روابط با * نشان داده شده است). براساس الگوریتم تشخیص خرابی استابس، شاخص خرابی از رابطه زیر به دست می‌آید.

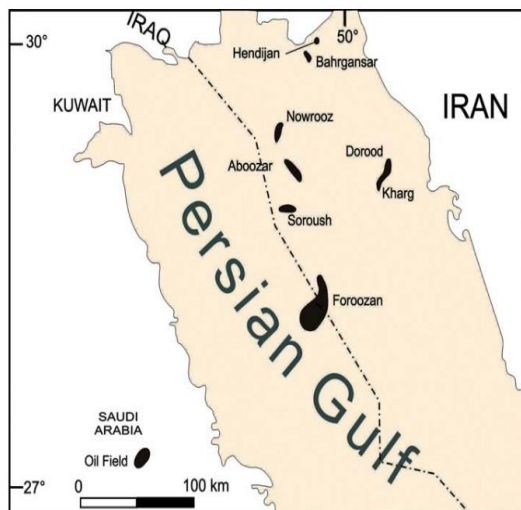
$$\beta_{ij} = \frac{E_j}{E_j^*} = \frac{[\Phi_i^{*T} C_{j0} \Phi_i^*] K_i}{[\Phi_i^T C_{j0} \Phi_i] K_i^*} \quad (3)$$

در این رابطه E_j و E_j^* مدول الاستیسیته المین المان به ترتیب در حالت سالم و آسیب دیده، C_{j0} سهم مشخصات هندسی عضو لام در ماتریس سختی سیستم، β_{ij} شاخص شناسایی آسیب برای المین عضو و المین مود هستند. چنانچه $K_i^* \approx \Phi_i^{*T} C \Phi_i^*$ تمام کمیت‌ها در سمت راست (از جمله Φ_i^* و Φ_i) را می‌توان تعیین نموده و یا از پارامترهای مودال به دست آمده از اندازه‌گیری‌های تجربی و هندسه سازه (C_{j0}) تقریب زد. بر طبق معادله فوق، آسیب در المین عضو و المین شکل مود در صورتی تعیین می‌شود که $\beta_{jj} > 1$ باشد. هر چند، چنانچه المین عضو در نزدیکی گره المین شکل مود باشد، مخرج معادله فوق به سمت صفر میل می‌کند و یک پیش‌بینی غلط از نتایج آسیب رخ می‌دهد. براساس مطالعه کیم و استابس با در نظر

برخی فعالیت‌های بازسازی و توسعه مجدد، از جمله نصب تعدادی سکوی دریایی جدید را انجام داده است. نفت و گاز تولید شده در میدان فروزان در دو مجتمع تولید فراساحلی FX و FZ، تصفیه می‌شود.



شکل ۱- روند شناسایی آسیب در سازه



شکل ۲- موقعیت میدان نفتی فروزان در خلیج فارس [۴۶]

۶- جزئیات توسعه میدان نفتی فروزان

میدان نفتی فروزان ابتدا با ۶۶ چاه، ۲ سکوی تولید، یک واحد پردازش، ۱۲ سکوی سرچاهی، ۳ جداکننده، برج نمک زدایی، و ۲ سکوی اقامتگاهی به نام‌های FX و FY توسعه یافت. سکوی اقامتگاهی دو طبقه FX، ۲۱ نفر را در خود

تحلیل ویژه برای سازه‌های سالم و آسیب دیده را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$K\phi_i = \omega_i^2 M\phi_i \quad (۶)$$

$$K^*\phi_i^* = \omega_i^{*2} M^*\phi_i^* \quad (۷)$$

در این رابطه، M و M^* ماتریس‌های جرم سیستم در حالت‌های سالم و آسیب دیده بوده و ω_i و ω_i^* ، λ امین فرکانس مودال در حالت سالم و آسیب دیده هستند. شاخص خرابی بهبود یافته از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\beta_j = \frac{\sum_{i=1}^m (\phi_i^T K_j \phi_i^* + \omega_i^{*2} \phi_i^{*T} M \phi_i^*) \omega_i^2 \phi_i^T M \phi_i}{\sum_{i=1}^m (\phi_i^T K_j \phi_i + \omega_i^2 \phi_i^T M \phi_i) \omega_i^{*2} \phi_i^{*T} M \phi_i^*} \quad (۸)$$

۴- تخمین شدت آسیب

چنانچه نسبت تغییرات در سختی عضو λ_j را با α_j نشان دهیم به طوری که $\alpha_j \geq -1$ باشد، طبق تعریف داریم:

$$E_j^* = E_j (1 + \alpha_j) \quad (۹)$$

در نهایت شدت خرابی از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\alpha_j = \frac{[\phi_i^T C_{jo} \phi_i] K_i^*}{[\phi_i^{*T} C_{jo} \phi_i^*] K_i} - 1 \quad (۱۰)$$

شناسایی آسیب در سازه، با روند نشان داده شده در شکل (۱) و استفاده از فرمول‌های بیان شده در بالا صورت می‌گیرد. در این مقاله از مساله مقدار ویژه و بردار ویژه برای به دست آوردن فرکانس طبیعی و شکل‌های مود سازه استفاده و مکان و شدت آسیب شناسایی شده است.

۵- معرفی منطقه طرح

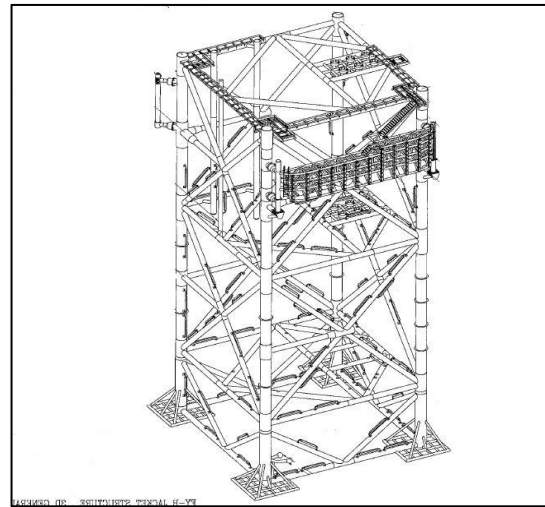
میدان نفتی فروزان در آب‌های خلیج فارس و حدود ۱۰۰ کیلومتری جنوب غربی ترمینال صادراتی جزیره خارک واقع شده است (شکل ۲). این میدان در مرز آبی ایران و عربستان سعودی قرار گرفته و بخش متعلق به عربستان سعودی، میدان مرجان نامیده می‌شود. این میدان که مالکیت آن در اختیار شرکت ملی نفت ایران است، در سال ۱۹۶۶ کشف شد و دارای ذخیره قابل بازیابی ۲,۳ بیلیون بشکه است. این میدان نفتی فراساحلی با تولید اولیه ۱۰۰ هزار بشکه نفت در روز در سال ۱۹۸۷ شروع به فعالیت نمود، ولی تولید آن در سال ۲۰۰۰ به ۴۰ هزار بشکه کاهش یافت. شرکت نفت فلات قاره ایران به منظور دو برابر کردن خروجی خام میدان به ۸۰ هزار بشکه در روز و نیز افزایش ظرفیت تولید گاز،

¹ Eigen analysis

آسیب، سناریوهای مختلف آسیب‌های تکی و چندتایی برای سازه تعریف شده است. برای شناسایی آسیب به روش انرژی کرنشی مودال به اطلاعات مودال سازه در حالت قبل و بعد از آسیب نیاز است. بدین منظور بعد از مدل‌سازی سکو و تعریف ماتریس‌های سختی و جرم المان‌ها و برهم‌چینی آن‌ها جهت دستیابی به ماتریس سختی و جرم کل سازه، بردارهای ویژه و مقادیر ویژه که به ترتیب همان شکل مودها و فرکانس‌های طبیعی سازه هستند، استخراج گردید. سپس فرکانس‌های طبیعی از کوچک به بزرگ مرتب شده که کوچک‌ترین فرکانس، اولین فرکانس طبیعی سازه و شکل مود متناظر با آن، اولین شکل مود سازه است. سایر شکل مودهای سازه نیز به شیوه فوق مرتب گردید. وقتی که آسیب‌های موضعی با شدت کم رخ می‌دهند می‌توان به صورت تقریبی از ماتریسی سختی سازه سالم برای حالت آسیب‌دیده استفاده نمود، که منجر به ایجاد خطای می‌گردد. لذا در هر سناریو میزان خطای روش‌های مختلف، مقایسه شده است. در جدول ۱، سناریوهای مختلف آسیب‌های وارد شده به زیرسازه در کنار سه فرکانس طبیعی اول سازه آسیب‌دیده در هر سناریو نشان داده شده است. موقعیت قرارگیری اعضای آسیب‌دیده در سازه سکو نیز در شکل (۴-ب) نشان داده شده است. در این مقاله، تنها چند شکل مود اول سازه در محاسبات مربوط به شناسایی آسیب در نظر گرفته شده اند.

در این مقاله سعی شده است اعضای مختلف سازه واقع در زیر سطح آب، ناحیه پاشش و بالای سطح آب، مورد مطالعه قرار گیرد. معمولا اعضای که در نزدیکی سطح آب قرار دارند، از اهمیت بیشتری برخوردار هستند. زیرا به دلیل شرایط محیطی در ناحیه پاشش (splash zoon) قرار داشته و احتمال خوردگی در آن‌ها بیشتر است. از آنجایی که ناحیه پاشش آب، محل برخورد موج به سازه می‌باشد، بیشترین میزان نیروی ناشی از موج در این ناحیه وارد می‌شود. همچنین به دلیل تر و خشک شدن پیاپی، اعضای واقع در این ناحیه بیش از سایر اعضا در معرض خوردگی قرار دارند. بنابراین ناحیه پاشش آب، مکان محتمل‌تری برای وقوع آسیب‌های سازه‌ای می‌باشد. همچنین به دلیل پهلوگیری شناورها به سازه، احتمال آسیب و وقوع خرابی ناشی از برخورد شناور در این اعضا بیشتر خواهد بود. لذا در انتخاب اعضای آسیب‌دیده این موارد لحاظ گردیده است.

جای داده و همچنین از اتاق کنترل، رستوران و یک تئاتر پیش‌تیبانی می‌کند، در حالی که سکوی اقامتگاهی FY یک سکوی سه طبقه برای زندگی ۴۲ نفر است. هیدروکربن تولید شده در این میدان به نفت خام، گازهای مرتبط و آب جداسازی می‌شود. نفت خام از طریق یک لوله ۱۰۰ کیلومتری با قطر ۲۰ اینچ به ترمینال صادراتی خارگ منتقل می‌شود. میدان فروزان با ۲۴ چاه تولید جدید با دو سکوی فراساحلی، شامل سکوی پردازشی FZ-A و سکوی اقامتگاهی FY-A در سال ۲۰۱۵ نوسازی گردید [۴۷].



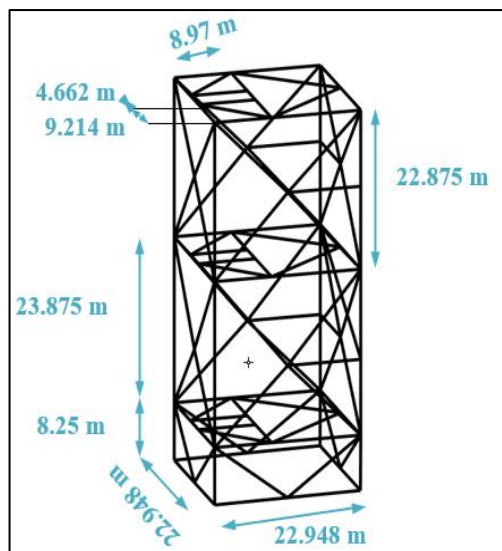
شکل ۳- شکل شماتیک سکوی واقع در میدان نفتی فروزان

۷- اعمال آسیب فرضی بر روی سازه و تعریف سناریوهای مختلف آسیب

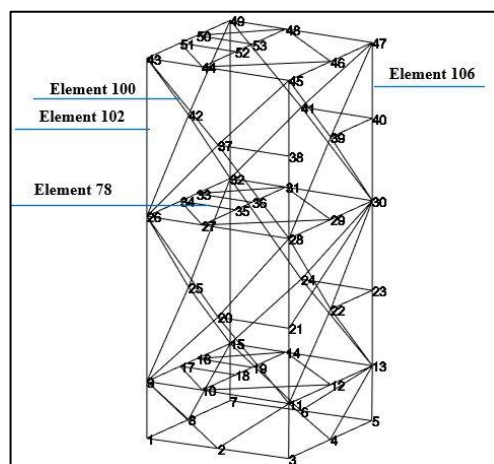
در این قسمت با استفاده از روش انرژی کرنشی مودال، به شناسایی آسیب در سازه پرداخته شده است. این آسیب با کاهش سختی (کاهش مدول الاستیسته) عضو در برنامه المان محدود نوشته شده، اعمال گردیده است. به نحوی که به طور مثال، وجود ۱۰ درصد آسیب در عضو شماره ۱۵ سبب می‌شود که میزان سختی آن عضو به ۹۰ درصد حالت اولیه برسد. سازه دارای ۱۲۵ عضو بوده و به صورت قاب خمشی مدل گردیده است. ۴ نقطه اتصال سازه به کف دریا به صورت گیردار مدل شده‌اند. سطر و ستون مربوط به تکیه گاهها از ماتریس‌های جرم و سختی سازه حذف گردیده‌اند. با توجه به نوع سازه، اتصالات سازه به صورت خمشی در نظر گرفته شده‌اند. مدول الاستیسته (E) برابر با ۲۱۰ گیگاپاسکال و چگالی فولاد برابر با ۷۸۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته شده است. به منظور نشان دادن دقت روش انرژی کرنشی مودال در شناسایی مکان و شدت

۷-۱- سناریوی اول: ۱٪ آسیب در عضو شماره ۷۸

به عنوان سناریوی اول، المان شماره ۷۸ که در زیر سطح آب قرار دارد، دچار یک درصد آسیب شده است. همان‌طور که پیش از این اشاره گردید، آسیب با کاهش مدول الاستیسیته عضو در برنامه المان محدود نوشته شده اعمال می‌گردد. در واقع، در این حالت، مدول الاستیسیته عضو آسیب‌دیده برابر با ۹۹٪ مدول الاستیسیته سازه سالم در نظر گرفته می‌شود. هدف از این سناریو، کنترل دقت روش در شناسایی آسیب‌های کوچک در مراحل اولیه رشد آسیب می‌باشد. شکل (۵) بیانگر دقت بسیار خوب هر دو روش شاخص استابس و روش انرژی کرنشی مودال بهبود یافته (لی و همکاران، ۲۰۱۶) در شناسایی مکان آسیب است، هر چند تفاوت محسوسی بین دو روش در این حالت مشاهده نمی‌شود. در این سناریو، میانگین خطا برای دقت شناسایی مکان آسیب در شاخص Stubbs و روش بهبود یافته به ترتیب ۴،۱۰٪ و ۳،۰۱٪ است. شکل (۶) نیز نشان دهنده تعیین شدت آسیب با دقت بالا و تخمین مناسب توسط روش انرژی کرنشی مودال است. دلیل مقدار منفی برای شدت آسیب، در نظر گرفتن میزان مدول الاستیسیته کمتر برای عضو در سازه آسیب‌دیده در برابر سازه سالم است. بنابراین روش انرژی کرنشی مودال در شناسایی آسیب‌های کوچک دارای دقت مناسبی است.



(الف)

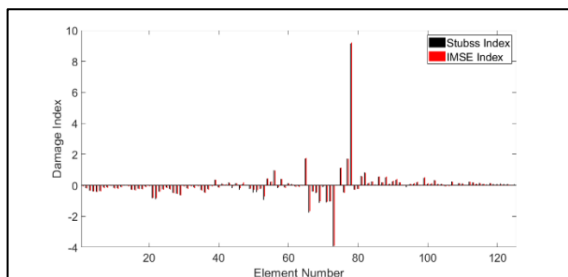


(ب)

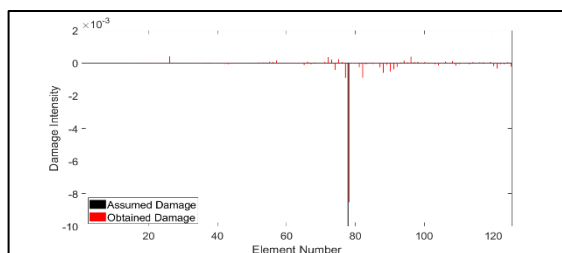
شکل ۴- مدل المان محدود سکوی فروزان (الف) ابعاد و اندازه‌ها و (ب) المان‌های آسیب دیده

جدول ۱- سناریوهای مختلف آسیب‌های وارده به سکوی فروزان و فرکانس‌های طبیعی اول آن در هر سناریو

سناریوی آسیب	عضو آسیب دیده	شدت آسیب	فرکانس طبیعی بر حسب هرتز		
			فرکانس اول	فرکانس دوم	فرکانس سوم
۱	۷۸	٪۱	۱،۵۴۴۶	۱،۶۹۰۲	۱،۷۴۵۲
۲	۷۸	٪۱۵	۱،۵۴۴۶	۱،۶۹۰۰	۱،۷۴۵۲
۳	۱۰۰	٪۱۰	۱،۵۴۲۰	۱،۶۸۹۸	۱،۷۴۱۶
۴	۱۰۲	٪۱۰	۱،۵۴۲۵	۱،۶۸۸۷	۱،۷۴۴۶
۵	۱۰۶	٪۱۰	۱،۵۴۳۴	۱،۶۸۹۹	۱،۷۴۴۹
۶	۷۸ و ۱۰۲	٪۱۰ و ٪۵	۱،۵۴۳۶	۱،۶۸۹۳	۱،۷۴۴۹

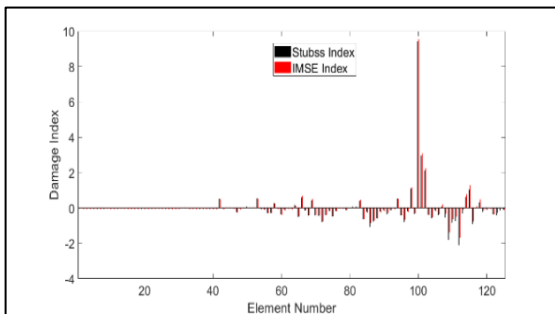


شکل ۵- تعیین محل آسیب با استفاده از شاخص Stubbs و روش بهبود یافته در سناریوی اول

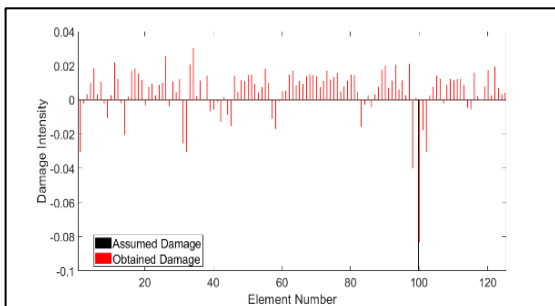


شکل ۶- تعیین شدت آسیب با استفاده از روش انرژی کرنشی مودال در سناریوی اول

می‌شود، مکان آسیب با دقت بسیار خوبی توسط هر دو روش شاخص استابس و روش انرژی کرنشی مودال بهبود یافته شناسایی شده است. بالاتر بودن شاخص آسیب روش بهبود یافته در مقایسه با شاخص استابس در عضو آسیب دیده نشان دهنده دقت و حساسیت بیشتر روش بهبود یافته در شناسایی مکان آسیب نسبت به روش شاخص استابس است. در این سناریو، میانگین خطا برای دقت شناسایی مکان آسیب در شاخص Stubbs و روش بهبود یافته به ترتیب ۲٫۱۰٪ و ۱٫۸۸٪ است. شکل (۱۰) نیز نشان دهنده تخمین خوب روش انرژی کرنشی مودال بهبود یافته در تعیین شدت آسیب است. بنابراین این روش توانایی شناسایی آسیب در عضوهای مهاری سکو را دارد.



شکل ۹- تعیین محل آسیب با استفاده از شاخص Stubbs و روش بهبود یافته در سناریوی سوم



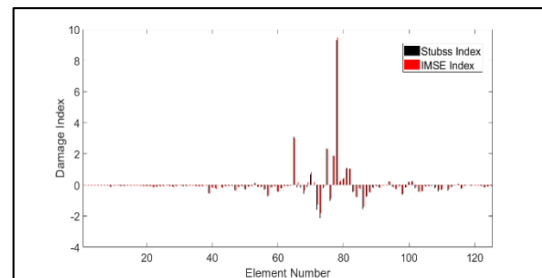
شکل ۱۰- تعیین شدت آسیب با استفاده از روش انرژی کرنشی مودال در سناریوی سوم

۴-۷- سناریوی چهارم: ۱۰٪ آسیب در عضو شماره ۱۰۲

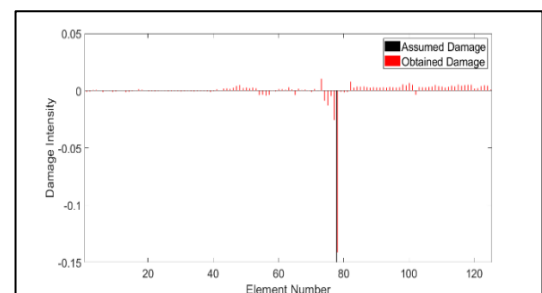
در این سناریو، عضو شماره ۱۰۲ به عنوان یکی از اعضای پایه سکو به میزان ۱۰ درصد دچار آسیب شده است. شکل (۱۱) بیانگر دقت مناسب مکان‌یابی آسیب در این عضو است. همچنین میانگین خطا برای دقت شناسایی مکان آسیب در شاخص Stubbs و روش بهبود یافته به ترتیب ۴٫۵۰٪ و ۳٫۸۰٪ است. شکل (۱۲) نیز نشان دهنده تخمین خوب روش انرژی کرنشی مودال در تعیین شدت آسیب است.

۲-۷- سناریوی دوم: ۱۵٪ در آسیب عضو شماره ۷۸

در این سناریو، عضو شماره ۷۸ به میزان ۱۵ درصد دچار آسیب شده است (مدول الاستیسیته عضو آسیب‌دیده برابر با ۸۵٪ مدول الاستیسیته سازه سالم در نظر گرفته شده است). شکل (۷) نشان دهنده این است که هر دو روش مبتنی بر انرژی کرنشی مودال با دقت مناسبی قادر به تعیین محل آسیب هستند، هر چند روش بهبود یافته تا حدی دقت بالاتری در شناسایی آسیب دارد که بالاتر بودن شاخص آسیب بهبود یافته در مقایسه با شاخص استابس موید این مساله است. میانگین خطا برای دقت شناسایی مکان آسیب در شاخص Stubbs و روش بهبود یافته به ترتیب ۳٫۹۱٪ و ۲٫۹۰٪ است. شکل (۸) نیز نشان می‌دهد که شدت آسیب در این سناریو نیز با دقت مناسبی تشخیص داده شده است که بیانگر دقت روش انرژی کرنشی مودال در شناسایی آسیب‌های بزرگ می‌باشد.



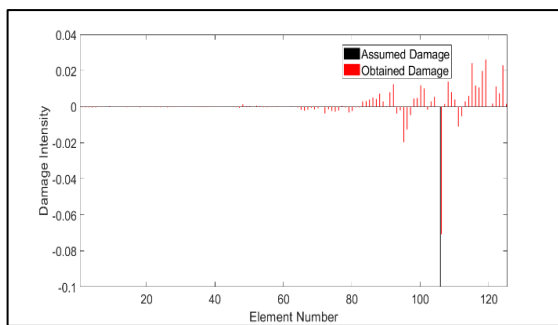
شکل ۷- تعیین محل آسیب با استفاده از شاخص Stubbs و روش بهبود یافته در سناریوی دوم



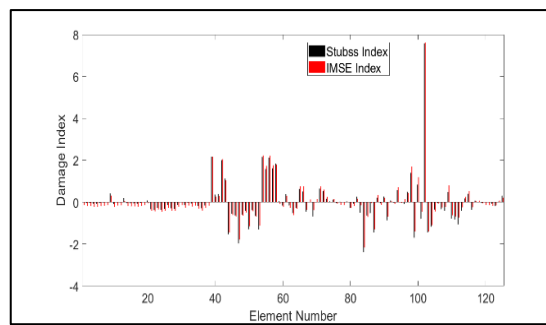
شکل ۸- تعیین شدت آسیب با استفاده از روش انرژی کرنشی مودال در سناریوی دوم

۳-۷- سناریوی سوم: ۱۰٪ آسیب در عضو شماره ۱۰۰ (المان مهاری واقع در ناحیه پاشش)

به عنوان سناریوی سوم، المان شماره ۱۰۰ که یک عضو مهاری بوده و در ناحیه پاشش آب قرار دارد، به میزان ۱۰ درصد دچار آسیب شده است. (مدول الاستیسیته عضو آسیب‌دیده برابر با ۹۰٪ مدول الاستیسیته سازه سالم در نظر گرفته شده است). همان‌طور که در شکل (۹) مشاهده



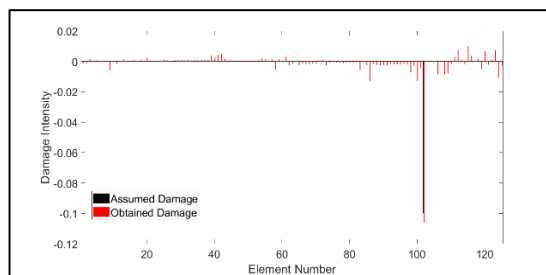
شکل ۱۴- تعیین شدت آسیب با استفاده از روش انرژی کرنشی مودال در سناریوی پنجم



شکل ۱۱- تعیین محل آسیب با استفاده از شاخص Stubbs و روش بهبود یافته در سناریوی چهارم

۶-۷- سناریوی ششم: ۱۰٪ آسیب در عضو شماره ۷۸ و ۵٪ آسیب در عضو شماره ۱۰۲

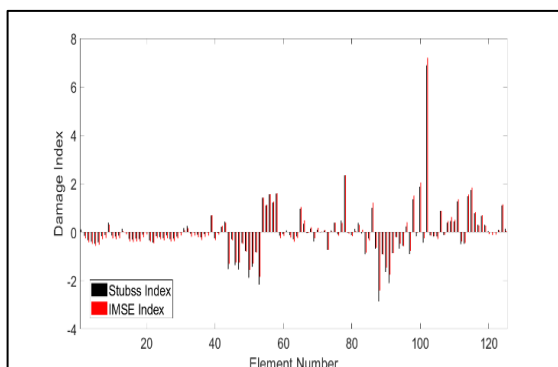
در این سناریو، به منظور نشان دادن توانایی روش انرژی کرنشی مودال بهبود یافته در شناسایی آسیب‌های چندگانه، دو عضو شماره ۷۸ و ۱۰۲ که شامل یک عضو افقی زیر آب سکو و یک عضو قائم بالای سطح آب است، دچار خرابی شده‌اند. همانطور که در شکل (۱۵) و (۱۶) نشان داده شده است، روش انرژی کرنشی مودال با دقت خوبی مکان و شدت آسیب را در حالت بروز آسیب‌های چندگانه تعیین نموده است. میانگین خطا برای دقت شناسایی مکان آسیب در شاخص Stubbs و روش بهبود یافته به ترتیب ۷،۰۰٪ و ۶،۵۰٪ است. با این حال، همان‌طور که در شکل (۱۵) مشاهده می‌شود، مانند مطالعات پیشین در زمینه شناسایی آسیب و پایش سلامت، حتی روش بهبود یافته نیز در برخی موارد شاخص آسیب را در اعضای سالم، به صورت منفی و یا اشتباه نشان می‌دهد، که به دلیل وجود خطاهای رایج در مدل‌سازی عددی می‌باشد. بنابراین این روش نیز نیازمند اصلاحاتی در آینده است.



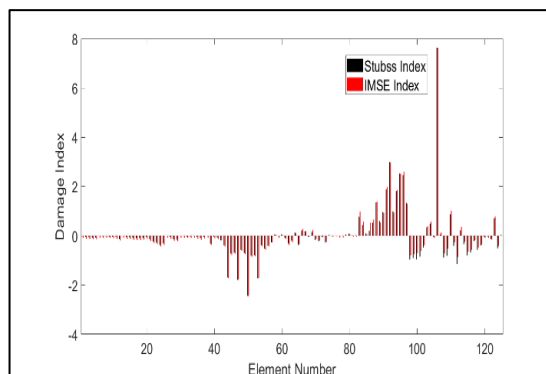
شکل ۱۲- تعیین شدت آسیب با استفاده از روش انرژی کرنشی مودال در سناریوی چهارم

۷-۵- سناریوی پنجم: ۱۰٪ آسیب در عضو شماره ۱۰۶

در این سناریو، ۱۰ درصد المان شماره ۱۰۶ که یک المان پایه‌ای کوتاه واقع در بالای خط آب است، مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود، مکان آسیب در این سناریو با دقت مناسبی توسط هر دو روش شناسایی شده است. در این سناریو، میانگین خطا برای دقت شناسایی مکان آسیب در شاخص Stubbs و روش بهبود یافته به ترتیب ۳،۶۰٪ و ۲،۸۰٪ است. همچنین با توجه به شکل (۱۴)، تخمین شدت آسیب در این سناریو توسط انرژی کرنشی مودال از دقت مناسبی برخوردار است.



شکل ۱۵- تعیین محل آسیب با استفاده از شاخص Stubbs و روش بهبود یافته در سناریوی ششم

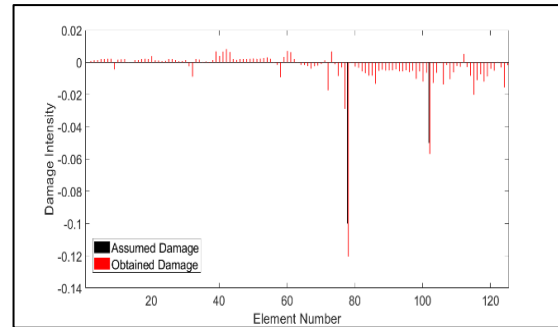


شکل ۱۳- تعیین محل آسیب با استفاده از شاخص Stubbs و روش بهبود یافته در سناریوی پنجم

به دلیل قرارگیری در میدان مشترک، این سازه یکی از پر اهمیت ترین مجتمع های فراساحلی ایران بوده و هر گونه توقف ناشی از وقوع آسیب در آن سبب تحمیل خسارات هنگفتی به کشور می گردد. یکی از تفاوت های مطالعه حاضر با سایر مطالعات صورت گرفته، تعداد زیاد اعضای موجود در سکو می باشد. نتایج نشان دهنده توانایی روش انرژی کرنشی مودال در تعیین شدت و مکان آسیب در سکوهای دریایی، عملکرد مناسب در شناسایی آسیب های با شدت کم و زیاد و نیز بهبود دقت مکان یابی آسیب در صورت استفاده از روش بهبود یافته است. با توجه به اینکه ناحیه پاشش آب به دلیل برخورد مداوم امواج در معرض خستگی بیشتر و به دلیل تر و خشک شدن پیایی در معرض خوردگی بیشتری قرار دارد، تمرکز شناسایی آسیب بر روی این ناحیه قرار داده شد و مشخص گردید که روش انرژی کرنشی مودال قادر به شناسایی مکان و شدت آسیب در اعضای واقع در ناحیه پاشش آب می باشد. همچنین در این مقاله آسیب های کوچک و چندتایی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج نشان دهنده دقت مناسب روش بهبود یافته در شناسایی این گونه آسیب ها در سازه است.

تقدیر و تشکر

بدین وسیله نویسندگان مقاله از شرکت نفت فلات قاره ایران به دلیل در اختیار قرار دادن نقشه های سکوی واقع در میدان نفتی فروزان تشکر و قدردانی می نمایند.



شکل ۱۶- تعیین شدت آسیب با استفاده از روش انرژی کرنشی مودال در سناریوی ششم

۸- نتیجه گیری

شناسایی مکان و محل آسیب به منظور جلوگیری از گسترش آسیب های سازه ای و پرهیز از به خطر افتادن سلامت سازه، از اهمیت زیادی برخوردار است. از آنجایی که ناحیه پاشش آب، محل برخورد موج به سازه می باشد، بیشترین میزان نیروی ناشی از موج در این ناحیه وارد می شود. همچنین به دلیل تر و خشک شدن پیایی، اعضای واقع در این ناحیه بیش از سایر اعضا در معرض خوردگی قرار دارند. بنابراین ناحیه پاشش آب، مکان محتمل تری برای وقوع آسیب های سازه ای می باشد. در این پژوهش، با استفاده از دو روش مختلف مبتنی بر انرژی کرنشی مودال، شامل روش شاخص استابس و روش انرژی کرنشی مودال بهبود یافته به شناسایی آسیب در سکوی فروزان واقع در میدان نفتی مشترک ایران و عربستان سعودی پرداخته شد.

مراجع

- [۱] زهرا تبریزیان، مرتضی حسینعلی بیگی و غلامرضا قدرتی امیری، "تشخیص آسیب در سازه های فلزی با استفاده از اطلاعات خیز استاتیکی و الگوریتم ژنتیک"، مجله مدل سازی در مهندسی، دوره ۱۳، شماره ۴۱، تابستان ۱۳۹۴، صفحه ۱۴۷-۱۵۸.
- [۲] محمد رضا تابش پور و علی بخشی، "تحلیل مود شکست و شاخص خرابی سازه های بتنی در زلزله"، مجله مدل سازی در مهندسی، دوره ۱، شماره ۱۵، زمستان ۱۳۸۶، صفحه ۵۹-۷۰.
- [۳] سید امیر فرهاد قاضی میر سعید، محسن معدنی و مهدی زارع، "بهبود سیستم پایش سلامت سازه در شناسایی محل ترک های ریز تیز با استفاده از تبدیل موجک و فیلتر دیجیتال"، مجله مدل سازی در مهندسی، دوره ۱۷، شماره ۵۸، پاییز ۱۳۹۸، صفحه ۳۰۵-۳۱۶.
- [4] S. W. Doebling, C. R. Farrar, M. B. Prime, and D. W. Shevitz, "Damage identification and health monitoring of structural and mechanical systems from changes in their vibration characteristics: A literature review", Los Alamos National Laboratory, 1996.
- [۵] محمد رضایی پزند و سید روح اله موسوی، "ترک یابی در سازه های مستوی با الگوریتم ژنتیک"، مجله مدل سازی در مهندسی، دوره ۱۲، شماره ۱۸، پاییز ۱۳۸۸، صفحه ۲۳-۳۷.
- [6] S. Wang, and M. Xu, "Modal strain energy-based structural damage identification: a review and comparative study", Structural Engineering International, vol. 29, pp. 234-248, 2019.
- [7] J. K. Vandiver, "Detection of structural failure on fixed platforms by measurement of dynamic response", in Proceedings of the 7th Annual Offshore Technology Conference, 1975.

- [8] J. K. Vandiver, "Detection of structural failure on fixed platforms by measurement of dynamic response", *Journal of Petroleum Technology*, Vol. 29, 1977, pp. 305-310.
- [9] R. D. Begg, A. C. Mackenzie, C. J. Dodds and O. Loland, "Structural integrity monitoring using digital processing of vibration signals", *Proceedings of 8th Annual Offshore Technology Conference*, 1976.
- [10] M. E. Wojnarowski, S. G. Stiansen, and N. E. Reddy, "Structural integrity evaluation of a fixed platform using vibration criteria", *Proceedings of 9th Annual Offshore Technology Conference*, 1977.
- [11] P. Cawley, and R. D. Adams, "The location of defects in structures from measurement of natural frequencies", *The Journal of Strain Analysis for Engineering Design*, Vol. 14, 1979, pp. 49-57.
- [12] R. N. Coppolino, and S. Rubin, "Detectability of structural failures in offshore platforms by ambient vibration monitoring", *12th Annual Offshore Technology Conference*, 1980.
- [13] D. M. Duggan, E. R. Wallace, and S. R. Caldwell, "Measured and predicted vibrational behaviour of Gulf of Mexico platforms", *Proceedings of 12th Annual Offshore Technology Conference*, 1980.
- [14] F. Shahrivar, and G. Bouwkamp, "Damage detection in offshore platforms using vibration information", *Journal of Energy Resources Technology*, Vol. 108, 1986, pp. 97-106.
- [15] S. R. Hansen, and G. N. Vanderplaats, "Approximation method for configuration optimization of trusses", *AIAAJ*, Vol. 28, 1990, pp. 161-168.
- [16] S. Doebling, F. Hemez, M. Barlow, L. Peterson, and C. Farhat, "Selection of experimental modal data sets for damage detection via model update", *34th Structures, Structural Dynamics and Materials Conference*, 1993.
- [17] J. T. Kim, and N. Stubbs, "Damage detection in offshore jacket structures from limited modal information", *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, Vol. 5, 1995, pp. 58-66.
- [18] N. Stubbs, and J. T. Kim, "An efficient and robust algorithm for damage localization in offshore platforms", *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, Vol. 5, 1995, pp. 58-66.
- [19] C. R. Farrar, and D. V. Jauregui, "Damage detection algorithms applied to experimental and numerical modal data from the I-40 bridge", *Los Alamos National Laboratory*, 1996.
- [20] A. A. Cury, C. C. Borges, and F. S. Barbosa, "A two-step technique for damage assessment using numerical and experimental vibration data", *Structural Health Monitoring*, Vol. 10, 2010, pp. 1-15.
- [21] N. Stubbs, J. T. Kim, and C. R. Farrar, "Field verification of a non-destructive damage localization and severity estimation algorithm", *Proceedings of the 13th International Modal Analysis Conference*, 1995.
- [22] N. Stubbs, and J. T. Kim, "Damage localization in structures without baseline modal parameters", *AIAA Journal*, Vol. 34, 1996, pp. 1644-1649.
- [23] S. Wang, and M. Xu, "Modal strain energy-based structural damage identification: a review and comparative study," *Structural Engineering International*, vol. 29, 2018, pp. 234-248.
- [24] O. S. Salawu, "Detection of structural damage through changes in frequency: a review", *Engineering Structures*, Vol. 19, 1997, pp. 718-723.
- [25] S. Park, N. Stubbs, R. Bolton, S. Choi, and C. Sikorsky, "Field verification of the damage index method in a concrete box-girder bridge via visual inspection", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. 16, 2001, pp. 58-70.
- [26] C. R. Farrar, and D. A. Jauregui, "Comparative study of damage identification algorithms applied to a bridge: II. Numerical study", *Smart Materials and Structures*, Vol. 7, 1998, pp. 720-731.
- [27] P. Cornwell, S. W. Doebling, and C. R. Farrar, "Application of the strain energy damage detection method to plate-like structures", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 224, 1999, pp. 359-374.
- [28] J. T. Kim, and N. Stubbs, "Improved damage identification method based on modal information", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 252, 2002, pp. 223-238.
- [29] Y. Y. Li, L. Cheng, L. H. Yam, and W. O. Wong, "Identification of damage locations for plate-like structures using damage sensitive indices: strain modal approach", *Computers and Structures*, Vol. 80, 2002, pp. 1881-1894.
- [30] J. T. Kim, and N. Stubbs, "Nondestructive crack detection algorithm for full-scale bridges", *Journal of Structural Engineering*, Vol. 129, 2003, pp. 1358-1366.
- [31] Y. He-Zhen, L. Hua-jun, and W. Shu-qing, "Damage localization of offshore platforms under ambient excitation", *China Ocean Engineering*, Vol. 17, 2003, pp. 495-504.
- [32] M. Ge, and E. M. Lui, "Structural damage identification using system dynamic properties", *Computers and Structures*, Vol. 83, 2005, pp. 2185-2196.

- [33] H. W. Hu, B. T. Wang, C. H. Lee, and J. S. Su, "Damage detection of surface cracks in composite laminates using modal analysis and strain energy method", *Composite Structures*, Vol. 74, 2006, pp. 399-405.
- [34] A. Alvandi, and C. Cremona, "Assessment of vibration-based damage identification techniques", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 292, 2006, pp. 179-202.
- [35] H. W. Shih, D. P. Thambiratnam, and T. H. Chan, "Vibration based structural damage detection in flexural members using multi-criteria approach," *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 323, 2009, pp. 645-661.
- [36] H. Hu, and C. Wu, "Development of scanning damage index for the damage detection of plate structures using modal strain energy method", *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 23, pp. 274-287, 2009.
- [37] H. Hu, and C. Wu, "Development of scanning damage index for the damage detection of plate structures using modal strain energy method", *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol. 23, 2009, pp. 274-287.
- [38] R. Loendersloot, T. H. Ooijevaar, L. Warnet, A. de Boer, and R. Akkerman, "Vibration based structural health monitoring of a composite plate with stiffeners", *International Conference on Noise and Vibration Engineering (ISMA 2010)*, 2010.
- [39] H. Hu, C. Wu, and W. J. Lu, "Damage detection of circular hollow cylinder using modal strain energy and scanning damage index methods," *Computers & Structures*, Vol. 89, 2011, pp. 149-160.
- [40] S. M. Seyedpoor, "A two stage method for structural damage detection using a modal strain energy based index and particle swarm optimization", *International Journal of Non-Linear Mechanics*, Vol. 47, 2012, pp. 1-8.
- [41] F. Liu, H. Li, W. Li, and B. Wang, "Experimental study of improved modal strain energy method for damage localisation in jacket-type offshore wind turbines", *Renewable Energy*, Vol. 72, 2014, pp. 174-181.
- [42] S. M. Seyedpoor, and O. Yazdanpanah, "An efficient indicator for structural damage localization using the change of strain energy based on static noisy data", *Applied Mathematical Modeling*, Vol. 38, 2014, pp. 2661-2672.
- [43] S. Wang, F. Liu, and M. Zhang, "Modal strain energy based structural damage localization for offshore platform using simulated and measured data", *Journal of Ocean University of China*, Vol. 13, 2014, pp. 397-406.
- [44] J. T. Kim, and N. Stubbs, "Damage detection in offshore jacket structures from limited modal information", *International Journal of Offshore and Polar Engineering*, Vol. 5, 1995, pp. 58-66.
- [45] Y. Li, S. Wang, M. Zhang, and C. Zheng, "An improved modal strain energy method for damage detection in offshore platform structures", *Journal of Marine Science and Application*, Vol. 15, 2016, pp. 182-192.
- [46] M. Asemani, and A. R. Rabbani, "Oil-oil correlation by FTIR spectroscopy of asphaltene samples", *Geosciences Journal*, Vol. 20, 2015, pp. 273-283.
- [47] [Online]. Available: <https://www.nsenergybusiness.com/projects/forouzan-oil-field-expansion/>.