

توسعه روش‌های COMAC و نشانه آسیب (DI) برای تشخیص آسیب در کنار تکیه‌گاه پل‌ها

سید علی طبائی^۱، فرهاد دانشجو^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استاد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

Danesh_fa@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۸/۱۳]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۴/۲/۵]

چکیده- روش‌های COMAC و نشانه آسیب (DI) که بر پایه تغییر در شکل‌های مودی است، در شناسایی مقطع طولی آسیب‌دیده در وسط دهانه عرشه پل‌ها قادر به تشخیص مقطع طولی آسیب‌دیده نیست و در برخی موارد مقطع عرضی آسیب‌دیده را نیز به درستی تشخیص نمی‌دهند. در این پژوهش ابتدا ضعف روش‌های گفته شده، نشان داده می‌شود و سپس روشی جدید برای تشخیص آسیب در عرشه پل از طریق توسعه روش‌های مذکور ارائه می‌شود. برای این منظور مدل عددی یک پل دو دهانه هفتاد و سه متری و مدل یک پل پنج‌دهانه بیست و پنج متری مورد استفاده قرار گرفته است. آسیب ایجاد شده روی عرشه پل، از طریق کاهش مدول الاستیسیته یک المان در کنار تکیه‌گاه پل‌ها تعریف می‌شود، نشان داده شده است که با در نظر گرفتن تنها شکل‌مدهای یک مقطع طولی، این روش‌ها قادر به شناسایی مکان آسیب‌دیده نمی‌باشند و باید از شکل‌های مودی چندین مقطع طولی استفاده شود.

واژگان کلیدی: روش‌های شناسایی آسیب، عرشه پل، شکل‌های مودی، فرکانس‌های طبیعی

۱- مقدمه

می‌شوند، سختی سازه است که تشخیص آسیب را در سازه امکان‌پذیر می‌کند. یکی از پارامترهای دینامیکی که برای شناسایی آسیب مورد استفاده قرار می‌گیرد، شکل‌های مودی می‌باشد. شکل‌های مودی مستقیماً مربوط به سختی سازه بوده و هرگونه کاهش در شکل‌های مودی نشان‌دهنده کاهش در سختی است [۱].

در استفاده از شکل‌های مودی برای شناسایی محل آسیب روش‌های مختلفی وجود دارد و کارهای بسیاری صورت گرفته است. اونگ، رحمان و اسماعیل [۲] پژوهشی روی آسیب ایجاد شده روی یک شفت، ناشی از بارگذاری سنگین انجام دادند. بدین منظور از تغییر ایجاد شده در فرکانس‌های طبیعی استفاده کردند. آن‌ها با الگوریتم پیشنهادی توانستند مکان آسیب

ایجاد آسیب در پل‌ها می‌تواند ناشی از عوامل گوناگون مانند زلزله، عبور وسایل نقلیه و ... باشد. استفاده از روش‌های بازرسی چشمی به منظور شناسایی آسیب، دارای این محدودیت است که با اعمال این روش‌ها، تنها آسیب‌های موجود در سطح امکان‌شناسایی دارند. به منظور شناسایی آسیب در سازه‌های پیچیده و همچنین وجود آسیب غیر از سطح سازه، روش‌هایی بر اساس تغییر در مشخصات دینامیکی بوجود آمده‌اند. از جمله این روش‌ها روش‌شناسایی آسیب بر پایه ارتعاش است. مشخصات دینامیکی یک سازه مختص آن سازه بوده و با تغییر در خصوصیات فیزیکی دستخوش تغییر قرار می‌شود. از جمله مشخصات دینامیکی که دچار تغییر

مودهای بیشتر بهبود کمی در نتایج و در مواقعی باعث ایجاد خطا در تحلیل‌ها شده‌اند. ویکراماسینگ و همکاران [۱۰] توانایی نشانه آسیب برپایه نرمی مودال را بررسی کردند. آن‌ها بدین نتیجه رسیدند که روش‌های برپایه نرمی می‌توانند آسیب را در پل‌های معلق شناسایی کنند. انتظامی و شریعتمدار [۱۱] روشی جدید را برای شناسایی مکان آسیب ارائه دادند. آن‌ها برای این منظور انرژی کرنشی مودال را مورد استفاده قرار دادند.

در این مقاله روش‌های معیار اطمینان مودی مختصاتی و نشانه آسیب، مورد بررسی قرار گرفته و سپس به منظور رفع نقاط ضعف این روش‌ها، روشی جدید از طریق توسعه روش‌های گفته شده ارائه می‌شود.

۲- روش‌های شناسایی آسیب مورد استفاده

۲-۱- COMAC (معیار اطمینان مودی مختصاتی)

وست [۱۲] نشان داد که می‌توان از اطلاعات شکل مود برای مکان‌یابی آسیب سازه‌ای بدون به کارگیری از المان محدود استفاده کرد. وی برای تعیین سطح همبستگی بین مودهای به دست آمده از آزمایش بال سفینه فضایی صدمه ندیده و مودهایی به دست آمده از آزمایش بال در برابر نیروهای آگوستیک، از MAC (ضریب اطمینان مودال) استفاده کرد. شکل مودها با استفاده از طرح‌های گوناگون تفکیک می‌شوند و تغییر ایجاد شده در ضریب اطمینان مودی در طول استفاده از روش‌های تفکیک کننده متفاوت، برای مکان‌یابی آسیب استفاده می‌شوند [۱۳]. MAC به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$MAC(i, j) = \frac{(\{\phi^A\}_i^T \{\phi^B\}_j)^2}{(\{\phi^A\}_i^T \{\phi^A\}_j)(\{\phi^B\}_i^T \{\phi^B\}_j)} \quad (1)$$

که در آن $\{\phi^A\}_i$ بردار مودال سازه سالم در مود i ام و $\{\phi^B\}_j$ بردار مودال سازه آسیب دیده در مود j ام است. مقدار MAC بین ۰ تا ۱ است که به ترتیب بیانگر ناهمبستگی و همبستگی دوجفت بردار مودال است. این روش برپایه این است که تغییر

را با خطایی اندک شناسایی کرده و میزان آسیب را نیز با نشانه آسیب به دست آوردند. آلمانگ [۳] مروری بر استفاده از شاخص شکل مودی و مشتقات آن در ارزیابی آسیب در سازه‌ها ارائه داده است. ژو و همکاران [۴] روش‌های شکل مودی، انحنا شکل مودی، انعطاف پذیری، انحنا انعطاف پذیری و نشانه آسیب را روی عرشه یک پل با تکیه‌گاه ساده آزمایشگاهی بررسی کردند. عملکرد تمامی روش‌ها زمانی که آسیب از کنار تکیه‌گاه به سمت وسط دهانه تغییر می‌کند، کاهش می‌یابد. فرار و جاریگو [۵] با انجام آزمایشی روی پل I-40، مقایسه‌ای از ۵ روش شناسایی آسیب شامل تغییر در انرژی کرنشی مودال، تغییر در انحنا شکل مودی، تغییر در نرمی، تغییر در انحنا نرمی و تغییر در سختی را انجام دادند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که در صورتیکه آسیب شدید باشد، تمامی روش‌ها قابلیت شناسایی محل آسیب را دارد. در حالت آسیب کمتر، روش انرژی کرنشی مودال در شناسایی آسیب از دیگر روش‌ها عملکرد بهتری دارد. اسماعیل و همکاران [۶] انحراف شکل مودی سازه به عنوان شاخص آسیب معرفی و بر آن اساس محل و میزان آسیب در تیرهای بتنی را تشخیص داده‌اند. نامبی [۷] برای تشخیص ترک روی تیر بتنی، از روش‌های MAC، COMAC، تغییر انرژی کرنشی، تغییر انعطاف پذیری و تغییر فرکانس‌های طبیعی استفاده نمود. در میان این روش‌ها، روش تغییر انرژی کرنشی بهترین عملکرد را از خود نشان داد. چپو و همکاران [۸] روشی جدید بر پایه نرمی مودال و نشانه آسیب را ارائه دادند. آن‌ها دریافتند که این روش می‌تواند چهار آسیب همزمان را شناسایی کند. ژو و همکاران [۹] یک پل پیش ساخته را به منظور بررسی روش‌های شناسایی آسیب بر پایه ارتعاش آزمایش کردند. روش‌های استفاده شده شکل مودی، انحنا شکل مودی، انعطاف پذیری، انعطاف پذیر اصلاح شده و نشانه آسیب است. تمامی روش‌ها قادر به شناسایی و مکان‌یابی آسیب در ناحیه ۱/۶ برابر فاصله بین شتاب سنج‌ها بودند. تحلیل‌های المان محدود نشان داد که افزایش تعداد مکان سنسورها منجر به افزایش دقت مکان‌یابی می‌شود در صورتی که استفاده از تعداد

که x فاصله در طول تیر، y تغییر شکل در جهت قائم، EI سختی خمشی مقطع عرضی و $\frac{d^2y}{dx^2}$ انحنای تیر تغییر شکل داده است.

آسیب در سازه ناشی از کاهش سختی باعث تغییر در انرژی کرنشی مودال می‌شود. این روش بر پایه تغییرات نسبی در انرژی کرنشی بین سازه سالم و سازه آسیب دیده می‌باشد. اطلاعات لازم برای شناسایی، تنها شکل‌های مودی بدون نیاز به ماتریس‌های جرم و سختی سازه است.

نشانه آسیب برای یک تیر برپایه انرژی کرنشی در مکان j و در مود i ام به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\beta_{ji} = \frac{\left(\int_a^b [\phi_i^{B'''}(x)]^2 dx + \int_0^L [\phi_i^{B'''}(x)]^2 dx\right)}{\left(\int_a^b [\phi_i^{A'''}(x)]^2 dx + \int_0^L [\phi_i^{A'''}(x)]^2 dx\right)} \times \frac{\int_0^L [\phi_i''(x)]^2 dx}{\int_0^L [\phi_i^{I*}(x)]^2 dx} = \frac{NMU_{ji}}{DEN_{ji}} \quad (4)$$

که در آن $\phi_i''(x)$ و $\phi_i^{I*}(x)$ توابع انحنای شکل مودی برای مود i ام در فاصله x در طول تیر و به ترتیب مربوط به حالت سالم و آسیب دیده است. L طول تیر، a و b محدوده ی جزئی از تیر است که آسیب روی آن ارزیابی می‌شود.

فرمول این روش برای المان‌های سازه‌ای مجزا به صورت زیر است:

$$\beta_{ji} = \frac{(\phi_{ji}^{I*})^2 + \sum_{k=1}^m (\phi_{ki}^{I*})^2}{(\phi_{ji}^{I*})^2 + \sum_{k=1}^m (\phi_{ki}^{I*})^2} \times \frac{\sum_{k=1}^m (\phi_{ki}^{I*})^2}{\sum_{k=1}^m (\phi_{ki}^{I*})^2} = \frac{NMU_{ji}}{DEN_{ji}} \quad (5)$$

فرض می‌شود که فاصله بین نقاط در بردارهای شکل مودی برابر باشد. متغیرهای بالا مانند قبل تعریف می‌شوند. در صورتی که بیشتر از یک مود استفاده شود، یک نشانه‌ی یکتا برای هر مکان j به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\beta_j = \frac{\sum_{i=1}^n NMU_{ji}}{\sum_{i=1}^n DEN_{ji}} \quad (6)$$

در بردارهای مودال در مقاطع عرضی نزدیک به آسیب نسبتاً بزرگتر از مکان‌های دور از آسیب است. با توجه به اینکه MAC تنها از یک جفت مود برای شناسایی آسیب استفاده می‌کند، مسئله انتخاب مودهای مناسب برای محاسبه MAC روشی مشابه بنام COMAC را برای مکان‌یابی آسیب مطرح می‌کند [۱۴]:

$$COMAC(i) = \frac{(\sum_{r=1}^m \phi_{ir}^A \phi_{ir}^B)^2}{(\sum_{r=1}^m \phi_{ir}^A \phi_{ir}^A)(\sum_{r=1}^m \phi_{ir}^B \phi_{ir}^B)} \quad (2)$$

که در آن ϕ_{ir}^A و ϕ_{ir}^B شکل‌های مودی در مختصات i در مود r ام است و به ترتیب برای سازه سالم و آسیب دیده است. اگر جابه‌جایی مودال در مختصات i برای دو دسته اطلاعات یکسان باشد، مقدار COMAC برابر یک است. کمترین مقدار COMAC نشانگر بیشترین احتمال آسیب در آن نقطه است.

بررسی‌های قبلی نشان داده است که مقادیر COMAC برای شناسایی آسیب، در تمامی شرایط، نشان‌دهنده آسیب نیست. همچنین محلی را به عنوان آسیب دیده نشان می‌دهد که آسیب دیده نیست. اگر شدت آسیب زیاد باشد، شناسایی موفقیت آمیزی صورت می‌گیرد [۱۵].

۲-۲-۲ DI (نشانه آسیب)

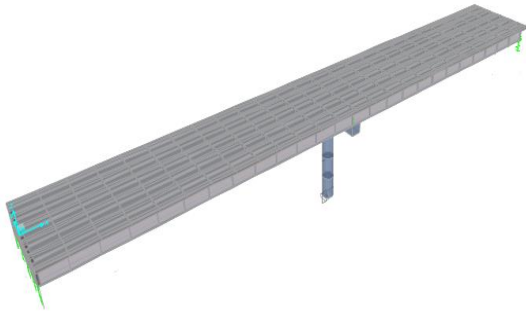
این روش به وسیله‌ی استابس و کیم [۱۶] پیشنهاد شد که تغییرات انرژی کرنشی ذخیره شده در تیر زمانی که در یک شکل مود خاص تغییر فرم می‌دهد را محاسبه می‌کند. آن‌ها این روش را برپایه کاهش انرژی کرنشی مودال بر اثر ایجاد آسیب بین دو مقطع عرضی سازه‌ای که از انحنای شکل مودهای اندازه گیری شده به دست می‌آید، ایجاد کردند.

انرژی کرنشی یک تیر برابر است با:

$$U = \int \frac{EI}{2} \left(\frac{d^2y}{dx^2}\right)^2 dx \quad (3)$$

جدول ۱. فرکانس‌های طبیعی پل دودهانه

شماره مود	فرکانس طبیعی (پارک)	فرکانس طبیعی (مدل)	درصد اختلاف
۱	۳/۰۹۹	۳/۰۹۴۴	۰/۱۲
۲	۳/۲۱۹	۳/۱۶۹	۱/۵
۳	۴/۴۲۶	۴/۵۴۰	۲/۵۸
۴	۶/۷۸۱	۶/۶۶۱	۱/۷۷
۵	۸/۳۰۷	۸/۳۰۱	۰/۰۷



شکل ۲. فرم سه بعدی پل دودهانه مدل‌سازی شده

به منظور تأیید مدل ساخته شده، از نتایج تحلیلی، شامل فرکانس‌های طبیعی سازه‌ی موجود مدل‌سازی شده به وسیله‌ی پارک استفاده شده است. پارک در پژوهش خود فرکانس‌های طبیعی را در ۵ مود اول ارائه داده است. با توجه به اطلاعات موجود، مدل‌سازی به وسیله‌ی نگارنده انجام شده و فرکانس‌های طبیعی حاصل با نتایج تحلیلی مقایسه شده است. همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود نتایج همپوشانی خوبی با یکدیگر دارند و اختلاف کم است. بنابراین می‌توان از این مدل برای ادامه روند پژوهش‌ها استفاده نمود.

۲-۳- پل پنج‌دهانه

پل دیگری که جهت انجام تحلیل‌های مربوط به شناسایی آسیب مورد استفاده قرار گرفته است، یک پل ۵ دهانه طراحی شده [۱۸] است. این پل دارای پنج‌دهانه به طول‌های برابر ۲۵ متر و عرض عرشه ۱۱/۸ متر و همچنین دارای ۸ ستون دایره‌ای و عرشه به صورت دال درجا است (شکل ۳). مدل تحلیلی سه بعدی پل پنج‌دهانه در شکل ۴ مشاهده می‌شود.

فرض می‌شود که مجموعه نشانه‌های آسیب برای سازه، نمونه جمعیت از یک متغیر اتفاقی که به صورت نرمال توزیع شده، است. نشانه آسیب نرمال شده برای یک مکان داده شده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

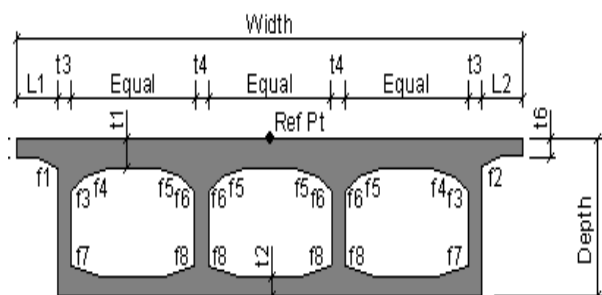
$$Z_j = (\beta_j - \mu_\beta) / \sigma_\beta \quad (7)$$

که در آن μ_β و σ_β به ترتیب میانگین و انحراف معیار نشانه آسیب برای کل مکان‌ها است. در مواقعی که $Z_j \geq \lambda$ باشد ($\lambda=2$ آستانه مشخص شده برای آسیب است)، نشانه آسیب بیانگر مکان احتمالی آسیب است.

۳- پل‌های استفاده شده

۳-۱- پل دودهانه

پل دودهانه استفاده شده این پژوهش، پلی است که پارک در سال ۲۰۰۱ در مقاله خود از آن استفاده نموده است [۱۷]. این پل دارای دو دهانه به طول‌های ۱۲۳ فوت (۳۷/۵ متر) و ۱۱۸ فوت (۳۶ متر) می‌باشد. عرض آن ۳۴ فوت (۱۰/۴۰ متر) و ضخامت تیرهای بتنی ۷ فوت (۲/۱۳ متر) است. ستون میانی دارای قطر ۵ فوت (۱/۵۲ متر) بوده و تکیه‌گاه‌های انتهایی شامل دیافراگم است. پل در وسط نیز روی پایه بتنی قرار گرفته است. دو دهانه به صورت صلب به ستون میانی متصل شده‌اند. مشخصات عرشه در شکل ۱ مشاهده می‌شود. همچنین مدل سه بعدی تهیه شده از این پل در شکل ۲ مشاهده می‌شود.



$$dth = 34, \text{Depth} = 7, t_1 = t_3 = t_4 = 1, t_2 = t_5 = t_6 = 0.6667, L_1 = L_2 = 3$$

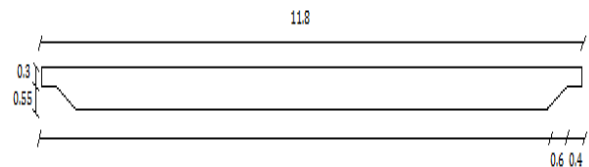
$$\text{اندازه افقی‌های } f_1 = f_2 = f_4 = f_5 = f_7 = f_8 = 1.5, f_3 = f_6 = 0.5$$

$$\text{اندازه‌های قائم } f_1 = f_2 = f_3 = f_4 = f_5 = f_6 = f_7 = f_8 = 0.35$$

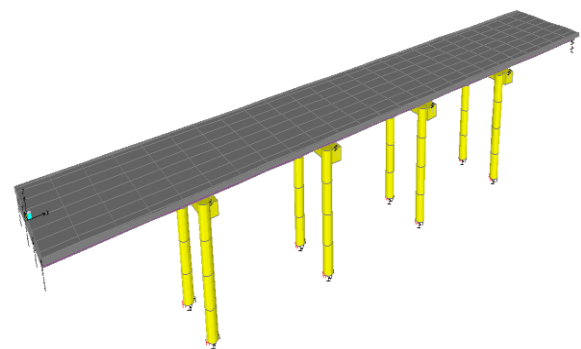
شکل ۱. جزئیات عرشه پل دو دهانه مدل‌سازی شده

۴- ایجاد آسیب

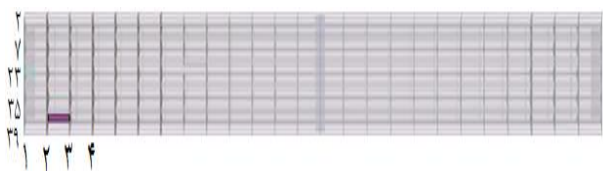
مطابق کارهای پیشین انجام شده [۱۹]، [۲۰] و [۲۱]، برای ایجاد آسیب در عرشه پل‌ها، سختی یک المان در کنار تکیه‌گاه کاهش داده شده است (شکل ۵ و شکل ۶). بدین منظور مدول الاستیسیته المان مورد نظر به اندازه ۱۵٪، ۳۰٪، ۵۰٪ و ۹۰٪ کاهش داده شده است.



شکل ۳. عرشه پل پنج دهانه



شکل ۴. مدل سه بعدی پل ۵ دهانه



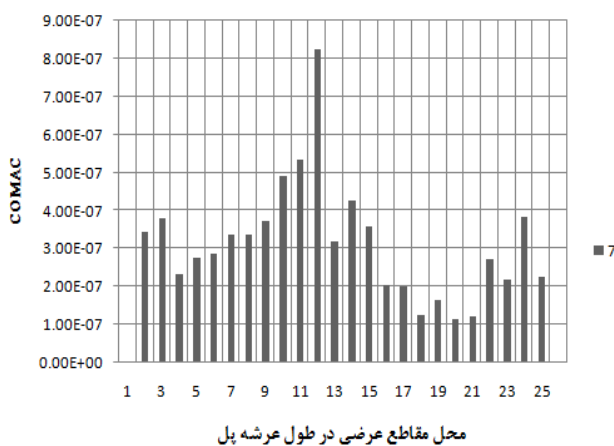
شکل ۵. ایجاد آسیب در پل دودخانه در المان بین مقاطع عرضی ۲ و ۳ روی مقطع طولی ۳۵



شکل ۶. ایجاد آسیب در پل پنج‌دهانه در المان بین مقاطع عرضی ۱ و ۲ روی مقطع طولی ۱۵

۵- تعیین ضعف‌های روش‌های شناسایی آسیب و توسعه آن‌ها جهت اصلاح ضعف‌ها

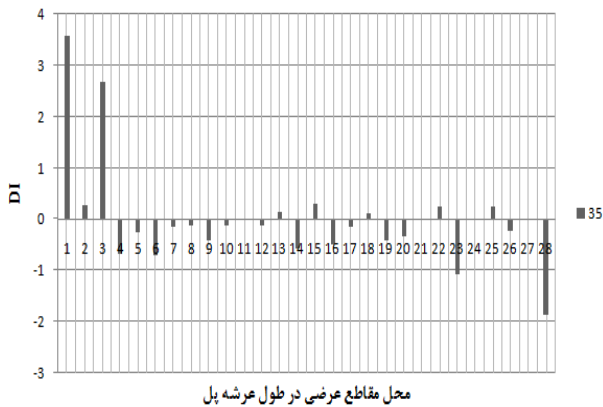
به منظور بررسی روش‌های شناسایی آسیب، سختی یک المان در کنار تکیه‌گاه پل‌ها کاهش داده شده است و با استفاده از شکل‌مادهای سازه سالم و آسیب دیده و به کارگیری در فرمول‌های ارائه شده، اعداد به دست آمده به صورت نمودار آورده شده و سعی در شناسایی آسیب می‌شود. در ادامه تعدادی از نتایج به دست آمده به عنوان نمونه آورده شده است.



شکل ۷. روش COMAC با استفاده از شکل‌مادهای مقطع طولی ۷

با توجه به پژوهش‌های انجام شده به منظور شناسایی آسیب، برای استخراج شکل‌مدها تنها از یک مقطع طولی و ترجیحاً مقطع طولی که آسیب روی آن ایجاد شده است، استفاده شده است. این درحالیست که در هنگام شناسایی آسیب روی پل‌ها، از وجود آسیب و همچنین مقطع طولی آسیب دیده، اطلاعاتی در دسترس نیست. بنابراین باید این نکته مورد توجه قرار گیرد. در صورتی که در پل دودخانه، آسیب ۳۰٪ در المان بین مقاطع عرضی ۲ و ۳ و در مقطع طولی ۳۵ ایجاد شود، اگر از شکل‌مدهای به دست آمده از مقطع طولی ۷ (آسیب ندیده) استفاده شود، نتیجه به دست آمده از روش COMAC مطابق شکل ۷ می‌باشد. مشاهده می‌شود که بیشینه مقدار ایجاد شده در مقطع عرضی ۱۲ است و بنابراین، آسیب در مکان اشتباه تشخیص داده شده است. حال اگر از شکل‌های مودی به دست

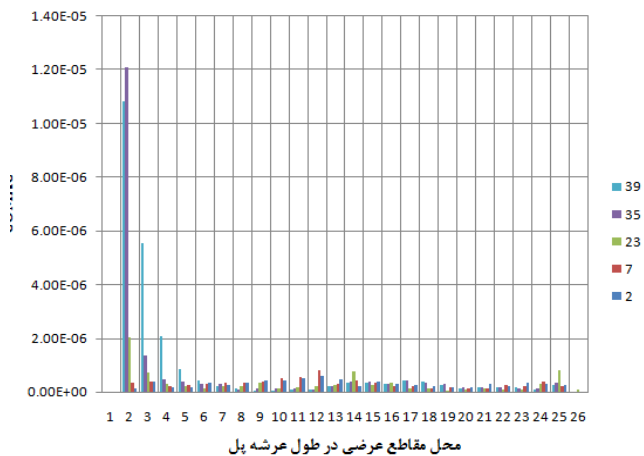
به درستی است. همچنین آسیب در مقطع عرضی ۱ به اشتباه نشان داده شده است.



شکل ۱۰. روش DI با استفاده از شکل مودهای مقطع طولی ۳۵

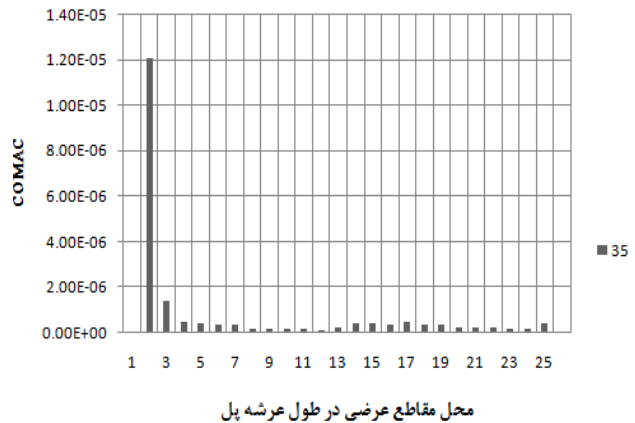
حال اگر به جای استفاده از شکل‌های مودی به دست آمده از یک مقطع طولی، از چندین مقطع طولی استفاده شود و نتایج به دست آمده به صورت یکجا مشاهده شود، نتایج نمودارهای به دست آمده از روش‌های COMAC و DI مطابق شکل ۱۱ و شکل ۱۲ است. مشاهده می‌شود که روش‌های COMAC و DI توانسته‌اند مقطع عرضی ۲ را به عنوان مقطع آسیب دیده به درستی تشخیص دهند.

در صورتی که در پل پنج‌دهانه، آسیب ۵۰٪ در المان بین مقاطع عرضی ۱ و ۲ و در مقطع طولی ۱۵ ایجاد شود و از چندین مقطع طولی شکل‌های مودی استخراج شود، مطابق

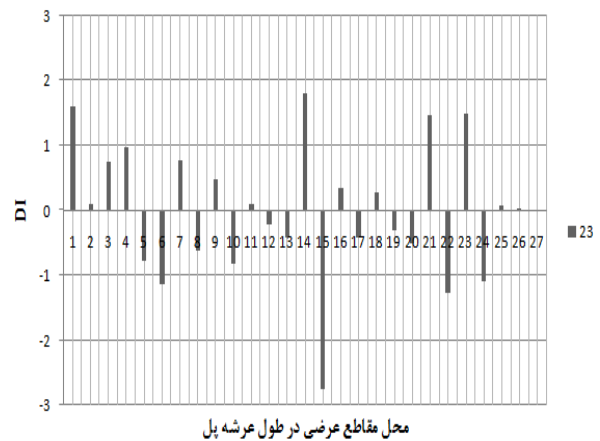


شکل ۱۱. روش COMAC با در نظر گرفتن ۵ مقطع طولی

آمده از مقطع عرضی ۳۵ استفاده شود، مطابق شکل ۸ روش COMAC وجود آسیب در مقطع عرضی ۲ را به درستی نشان می‌دهد. بنابراین انتخاب مقطع طولی برای استخراج شکل‌های مودی بسیار حائز اهمیت است.



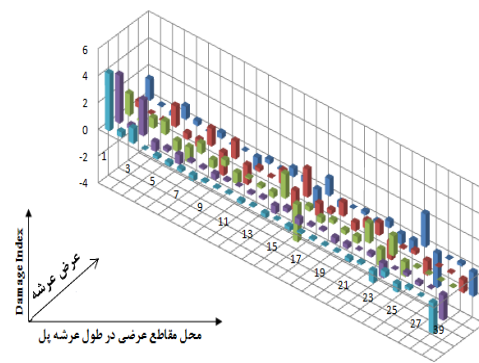
شکل ۸. روش COMAC با استفاده از شکل مودهای مقطع طولی ۳۵



شکل ۹. روش DI با استفاده از شکل مودهای مقطع طولی ۲۳

در صورت ایجاد آسیب ۹۰٪ در المان بین مقاطع عرضی ۲ و ۳ و استفاده از شکل‌های مودی به دست آمده از مقطع طولی ۲۳، نتایج به دست آمده از روش DI مطابق شکل ۹ است. مشاهده می‌شود که در مقطع عرضی ۱ مقدار نشانه آسیب از عدد دو بزرگ‌تر می‌باشد و آسیب در مقطع عرضی ۲ یا ۳ نشان داده نشده است. حال اگر از شکل‌های مودی به دست آمده از مقطع طولی ۳۵ استفاده شود نتیجه مطابق شکل ۱۰ خواهد بود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در این حالت مقدار نشانه آسیب در مقطع عرضی ۳ بیشتر از عدد دو است و نشان‌دهنده آسیب

شکل ۱۳ روش COMAC وجود آسیب در مقطع عرضی یک را نشان به درستی می‌دهد. همچنین مطابق شکل ۱۴، روش DI نیز نشان‌دهنده مقدار نشانه آسیب بیشتر از دو در مقطع عرضی دو است و توانسته است آسیب را شناسایی نماید. همچنین این روش آسیب را در کنار تکیه‌گاه و مقطع طولی مجاور آسیب، نیز به اشتباه پیشبینی می‌کند.

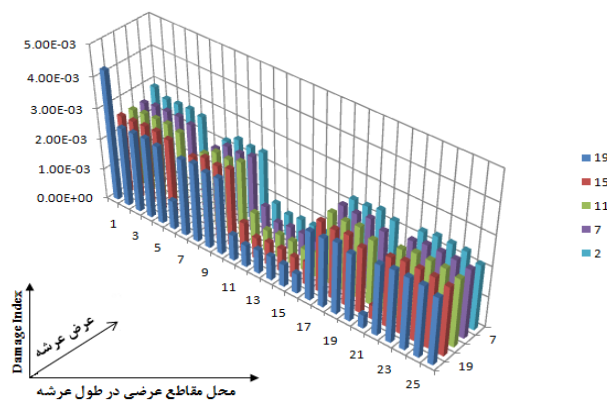


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
19	4.2	0.3	1.1	0	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	0.0	-0.	0.0	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	0.1	-0.	0.4	-0.	0.2	-0.	-2.	
15	3.5	0.2	2.6	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	0.0	-0.	0.1	-0.	0.3	-0.	-0.	0.1	-0.	-0.	0.0	0.2	-1.	-0.	0.2	-0.	0.0	-1.	
13	1.6	0.1	0.7	0.9	-0.	-1.	0.7	-0.	0.4	-0.	0.1	-0.	-0.	1.8	-2.	0.3	-0.	0.2	-0.	-0.	1.4	-1.	1.4	-1.	0.0	0.0	0.0	-0.
7	0.4	0.0	-0.	1.5	-0.	-0.	1.3	-1.	1.3	-1.	0.2	0.0	1.0	-1.	2.0	-1.	-0.	1.0	-0.	0.6	0.9	-1.	-0.	0.2	-1.	0.0	0.0	-0.
2	1.5	0.0	-0.	0.9	0.3	-0.	0.4	-0.	0	-1	0.3	0.0	0.6	0.4	-1.	1.2	-0.	0	0.2	-0.	0.4	-0.	-1	2.4	-2.	0.0	0.2	-1.

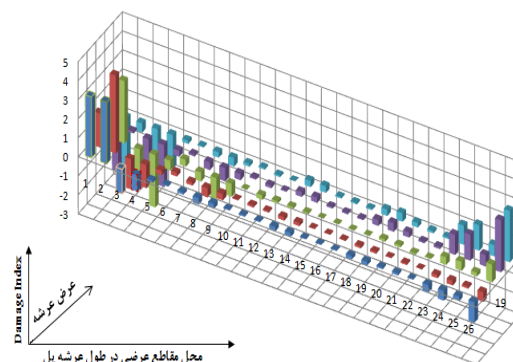
۶- نتیجه گیری :

در استفاده از روش‌های شناسایی آسیب، شکل‌های مودی از یک مقطع طولی استخراج می‌شود و سپس با استفاده از فرمول‌های مربوطه، مقطع عرضی آسیب دیده شناسایی می‌شود. ولی در عمل، مقطع طولی آسیب دیده مشخص نیست و در این پژوهش نشان داده شد که اگر یک مقطع طولی غیر از مقطع طولی آسیب‌دیده انتخاب شود، امکان تشخیص اشتباه مقطع عرضی آسیب‌دیده وجود دارد. بنابراین برای رفع این ایراد، پیشنهاد می‌شود به جای در نظر گرفتن شکل مودهای یک مقطع طولی، شکل مودهای چند مقطع طولی در نظر گرفته شود تا با مقایسه منحنی‌ها و تحلیل نتایج، مقطع عرضی آسیب دیده بدرستی تعیین شود.

شکل ۱۲. روش DI با در نظر گرفتن ۵ مقطع طولی



شکل ۱۳. روش COMAC با در نظر گرفتن ۵ مقطع طولی



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
19	3.1	3.2	-1.	-0.	-0.	0.0	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-1.
15	1.8	4.1	-1.	-1.	-0.	0.2	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.
11	1.2	3.2	-1.	-2.	-0.	0.3	-0.	-1.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	0.0	0.0	-0.	0.0	0.1	0.1	-0.	0.0	0.3	0.4	0.2	0.9	
7	-2.	0.1	-1.	-2.	-0.	0.1	-0.	-0.	-0.	0.0	-0.	-0.	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.2	0.0	0.1	1.0	1.3	0.6	2.7	
2	-2.	-0.	-1.	-1.	-0.	-0.	-0.	-0.	-0.	0.0	-0.	-0.	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4	0.2	0.1	0.0	1.0	1.3	0.5	2.7	

شکل ۱۴. روش DI با در نظر گرفتن ۵ مقطع طولی

- در استفاده از روش‌های COMAC و DI، در بیشتر موارد، المان مجاور تکیه‌گاه (مقطع عرضی ۱ و ۲) را به عنوان آسیب نشان می‌دهند. به همین دلیل باید قبل از بررسی نتایج مربوط به این دو روش، ابتدا مقادیر به دست آمده برای المان‌های کنار تکیه‌گاه‌ها حذف شده و سپس با توجه به نمودارهای به دست آمده، محل آسیب را شناسایی نمود.
- در صورتی که آسیب در نزدیکی تکیه‌گاه وجود داشته باشد (مقطع عرضی ۲ و ۳)، روش COMAC قادر به تشخیص مقطع عرضی آسیب دیده است در صورتی که روش DI در برخی موارد قادر به تشخیص محل آسیب می‌باشد و در مواردی نمی‌تواند آسیب را شناسایی نماید.

منابع:

13. Doebling, S.W., et al., Damage identification and health monitoring of structural and mechanical systems from changes in their vibration characteristics: a literature review, 1996, Los Alamos National Lab., NM (United States.)
14. Wang, L. and T.H. Chan. Review of vibration-based damage detection and condition assessment of bridge structures using structural health monitoring. 2009. QUT Conference Proceedings.
15. Salgado, R., et al., Comparison between damage detection methods applied to beam structures. 2006.
16. Stubbs, N., J.T. Kim, and C. Farrar. Field verification of a nondestructive damage localization and severity estimation algorithm. in PROCEEDINGS-SPIE THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING. 1995. SPIE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL.
17. Park, S., et al., Field Verification of the Damage Index Method in a Concrete Box_Girder Bridge via Visual Inspection. Computer_Aided Civil and Infrastructure Engineering, 2001. 16(1): p. 58-70.
۱۸. جلوداریان، ح، آنالیز مودال لرزه ای پل‌های واقع در قوس افقی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بین المللی امام خمینی، ۱۳۸۶.
19. Pandey A., M. Biswas, and M. Samman, Damage detection from changes in curvature mode shapes. Journal of sound and vibration, 1991. 145(2): p. 321-332.
20. Dutta, A. and S. Talukdar, Damage detection in bridges using accurate modal parameters. Finite Elements in Analysis and Design, 2004. 40(3): p. 287-304.
21. Shih, H.W., D.P. Thambiratnam, and T.H.T. Chan, Damage assessment in multiple-girder composite bridge using vibration characteristics. 2009.
1. Majumdar, A., D.K. Maiti, and D. Maity, Damage assessment of truss structures from changes in natural frequencies using ant colony optimization. Applied Mathematics and Computation, 2012. 218(19): p. 9759-9772.
2. Ong, Z., A. Rahman, and Z. Ismail, Determination of damage severity on rotor shaft due to crack using damage index derived from experimental modal data. Experimental Techniques, 2014. 38(5): p. 18-30.
3. Allemang, R.J., The modal assurance criterion—twenty years of use and abuse. Sound and Vibration, 2003. 37(8): p. 14-23.
4. Zhou, Z., L.D. Wegner, and B.F. Sparling, Vibration-based detection of small-scale damage on a bridge deck. Journal of structural engineering, 2007. 133(9): p. 1257-1267.
5. Farrar, C.R. and D. Jauregui, Damage detection algorithms applied to experimental and numerical modal data from the I-40 bridge. 1996: Los Alamos National Laboratory.
6. Ismail, Z., H. Abdul Razak, and A. Abdul Rahman, Determination of damage location in RC beams using mode shape derivatives. Engineering Structures, 2006. 28(11): p. 1566-1573.
7. Ndambi, J.-M., J. Vantomme, and K. Harri, Damage assessment in reinforced concrete beams using eigenfrequencies and mode shape derivatives. Engineering Structures, 2002. 24(4): p. 501-515.
8. Choi, F.C., et al., Application of the modified damage index method to timber beams. Engineering Structures, 2008. 30(4): p. 1124-1145.
9. Zhou, Z., L.D. Wegner, and B.F. Sparling, Structural health monitoring of precast concrete box girders using selected vibration-based damage detection methods. Advances in Civil Engineering, 2010.
10. Wickramasinghe, W.R., D.P. Thambiratnam, and T.H. Chan. Modal flexibility method for structural damage detection in suspension bridges. in 6th International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure, SHMII-6 2013. 2014.
11. Entezami, A. and H. Shariatmadar, Damage detection in structural systems by improved sensitivity of modal strain energy and Tikhonov regularization method. International Journal of Dynamics and Control, 2014: p. 1-12.
12. West, W.M. Illustration of the use of modal assurance criterion to detect structural changes in an orbiter test specimen. 1986.

Development of COMAC and Damage Index Methods for Damage Detection in the Near of Abutments of Bridges

Seyed Ali Tabaei¹, Farhad Daneshju²

1- MS.c Student, Department of Environmental & Civil engineering, Tarbiat Modares University

2- Professor, Department of Environmental & Civil engineering, Tarbiat Modares University

Danesh_fa@modares.ac.ir

Abstract

Bridges are exposed to damage during their service life which can severely affect their safety. Thus, it is important to monitor bridges for existence of damage. A damage in a structure alters its dynamic characteristics. Changes in properties such as the flexibility or stiffness matrices derived from measured modal properties and changes in mode shape curvature have shown promise for locating structural damage. Since damage alters the dynamic characteristics of a structure, namely its eigenproperties (natural frequencies and modes of vibration), several techniques based on experimental modal analysis have been developed in recent years. Therefore vibration characteristics of a structure can be used as the basis for vibration based damage detection (VBDD) techniques. These techniques have been recently subjected to a considerable amount of attention for damage detection due to their relative simplicity and the moderate cost of dynamic measurements. Damage detection methods based on the dynamic measurements of structures are one of the most important techniques for damage evaluation in bridges. VBDD methods use damage-induced changes to the dynamic properties of a structure to detect, locate, and sometimes quantify the extent of damage. VBDD methods are able to detect damage with information from the dynamic response of the bridge only. The performance of these methods for damage detection in bridges has not been fully proven so far and more research needs to be done in this direction. In this article new method base on developing the Co-Ordinated Modal Assurance Criteria and Damage Index (DI) is present. Mode shapes and natural frequencies extract from health bridge model and damage bridge model. A two-span bridge and a five-span bridge are modeled. To verifying the models, five natural frequencies that modeled in software, compared to natural frequencies of original models. The damage defined by reducing stiffness in one element near the abutments. The four level damage that considered are 15%, 30%, 70% and 90% reduce in module of elasticity. At first the inability of COMAC and DI methods to detecting the damage near the abutment is shown. Then a new method base on use of mode shapes that obtained from several longitudinal section instead of one longitudinal section is present. Results confirmed that if mode shapes are just extract from one longitudinal section like before, methods may detecting the damaged cross section or damaged longitudinal section wrongly. But if mode shapes obtain from several longitudinal sections, these methods will be able to assessment the damaged cross section and damaged longitudinal section. Although these methods usually detecting the elements that are near abutment as damage location wrongly. So it is necessarily to eliminate the result of this elements and then decided for the damage location. Besides it is concluded that to detecting the damage near the abutment, COMAC method has better result than DI method.

Key words : Damage detection methods – Deck of Bridge – Mode Shape – Natural Frequency