



ارزیابی خسارت‌های زمان بهره‌برداری در پل‌ها به کمک کرنش‌های مودال

ندا بقیعی^۱، محمدرضا اصفهانی^۲ و کاظم مسلم^۳

^۱دکترای مهندسی سازه - دانشگاه فردوسی مشهد

^۲استاد گروه عمران - دانشگاه فردوسی مشهد

^۳استادیار گروه عمران - دانشگاه فردوسی مشهد

ne_ba43@stu-mail.um.ac.ir

esfahani@ferdowsi.um.ac.ir

moslem@ferdowsi.um.ac.ir

خلاصه

خسارت‌های زمان بهره‌برداری از کارآیی پل‌ها می‌کاهند و ممکن است به شکست ناگهانی آن‌ها بیانجامد. آزمایش مودال و پردازش داده‌های ارتعاشی دریافتی، شناسایی و مکان‌یابی این خسارت‌ها را امکان‌پذیر می‌کند. این مقاله با کمک کرنش‌های مودال تجربی به بررسی دو گونه از خسارت‌هایی که در زمان بهره‌برداری از پل‌ها رخ می‌دهند، می‌پردازد. خسارت‌های مورد بحث شامل خسارت‌های سطحی ناشی از تباهی بتن در شاه‌تیرهای جعبه‌ای پیش‌تنیده و خسارت‌های ناشی از ترک‌های خستگی در تیرورق پل‌هاست. این خسارت‌ها روی نمونه‌های تمام‌مقیاس شبیه‌سازی شده‌اند که در این پژوهش داده‌های مودال وابسته به نخستین شکل مود ارتعاشی آن‌ها پردازش می‌شوند. کرنش‌های مودال تجربی با کمک روش بهینه‌سازی محدودیت‌دار به دست می‌آیند. تغییرات کرنش‌های مودال و روش پیشنهادی بردارهای Ritz در فضای کرنش‌ها، الگوهای خسارت را نتیجه می‌دهد که با مشاهدات تجربی هماهنگی دارد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهند که با کرنش‌های مودال می‌توان خسارت‌های زمان بهره‌برداری را در پل‌ها شناسایی و برای پیشگیری از گسترش آن‌ها تصمیم‌گیری کرد.

کلمات کلیدی: داده‌های مودال، بردارهای Ritz، خسارت، شکل مود، کرنش مودال.

۱. مقدمه

سازه‌ها در هنگام بهره‌برداری، شرایط محیطی، زلزله، بارهای ضربه‌ای و متناوب بخشی از کارآیی خود را از دست می‌دهند. با بازرسی منظم و ارزیابی وضعیت سازه، خسارت‌ها مشخص و ایمنی و قابلیت اعتماد و دوام سازه تعیین می‌شود. با این کار می‌توان برای نگهداری و مرمت سازه برنامه‌ریزی کرد و هزینه‌های ترمیم را کاهش داد. از این‌رو تعیین یک شاخص خسارت که بتواند وضعیت سازه را برآورد کند اهمیت دارد. شاخص‌های خسارت را می‌توان براساس ویژگی‌های مودال سازه به‌دست آورد. ویژگی‌های مودال بنیادی سازه شامل بسامد، میرایی و شکل مودها هستند که با وارد شدن خسارت و پیشروی ترک‌ها تغییر می‌کنند. با پردازش داده‌های مودال بنیادی، مکان و شدت خسارت‌ها تعیین می‌شوند. کمیت‌هایی مانند کارمایه کرنشی، خمیدگی‌های شکل مودها و ماتریس نرمی از پردازش داده‌های مودال بنیادی به دست می‌آیند. بنا به نوشته‌های Doebling و همکاران [۱] همه کمیت‌های مودال از حساسیت یکسانی نسبت به خسارت برخوردار نیستند. برای افزایش حساسیت داده‌های مودال به خسارت Pandey و همکاران [۲] در سال ۱۹۹۱، روش محاسبه خمیدگی شکل مود یا کرنش مودال را پیشنهاد دادند. کرنش شکل مودها بیش از تغییر مکان مودال و بسامد به خسارت حساس است. به کمک کرنش‌های مودال می‌توان کارمایه کرنشی مودال را محاسبه کرد. Stubbbs و Toppole [۳] شاخص خسارتی را بر مبنای کاهش کارمایه کرنشی مودال ناشی از خسارت ارائه دادند. Yao و همکاران [۴] نیز کرنش شکل مودها را برای نشان دادن خسارت محلی به کار بردند. دقت روش‌هایی که بر اساس کرنش مودها است به چگونگی محاسبه کرنش‌ها بستگی دارد. با روش تفاوت محدود نمی‌توان شرایط مرزی را وارد کرد و کرنش‌های محاسباتی هموار نیستند. کرنش‌های ناهموار به آسانی تحلیل نمی‌شوند و مکان‌یابی خسارت‌ها را دشوار می‌سازند. این دشواری‌ها هنگامی که در سازه بیش از یک ناحیه خسارت دیده باشد بیشتر می‌شوند. برای حل این مشکل تا کنون روش‌های ریاضی بسیاری پیشنهاد شده‌اند که برخی از آنها بر اساس روش‌های بهینه‌سازی محدودیت‌دار هستند. برای نمونه، Maeck [۵] روش بهینه‌سازی محدودیت‌داری به نام