



بررسی خمش ورق‌های ضخیم کامپوزیت با استفاده از روش توابع پایه نمایی هموار (EBFs)

مینا شهبازی^۱، بیژن برومند^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

mina_shahbazi65@yahoo.com
boromand@cc.iut.ac.ir

خلاصه

در تحقیق حاضر، یک روش عددی بدون نیاز به شبکه‌بندی دامنه حل به منظور بررسی رفتار خمشی ورق‌های کامپوزیت نسبتاً ضخیم تحت بارگذاری استاتیکی بدون محدودیت در شکل هندسی و شرایط مرزی ورق براساس تئوری تغییر شکل برشی درجه اول میندیلین ارائه می‌گردد. در این روش، جواب تغییر شکل‌های مجهول ورق از دو بخش جواب خصوصی و همگن تشکیل می‌شود. جواب همگن به صورت یک ترکیب خطی از توابع پایه نمایی هموار با ضرایب ثابت تقریب زده می‌شود و شرایط مرزی ورق با استفاده از تبدیلی ویژه ارضا می‌گردد. پاسخ خصوصی نیز با استفاده از سری دیگری از توابع پایه نمایی و با روندی مشابه با حل همگن بدست می‌آید. در انتها نتایج عددی حاصل از این روش برای برخی از مسائل دارای حل دقیق به منظور بررسی کارایی و دقت این روش ارائه شده است.

کلمات کلیدی: ورق کامپوزیت نسبتاً ضخیم، تغییر شکل برشی درجه اول میندیلین، روش توابع پایه نمایی هموار

۱. مقدمه

سازه‌های کامپوزیت لایه‌ای به دلیل دارا بودن مقاومت و سختی بالا، امروزه کاربرد گسترده‌ای در شاخه‌های مختلف از جمله علوم هوافضا، صنایع دریایی، ماشین‌آلات و مهندسی عمران، مکانیک، شیمی و هسته‌ای دارند.

بنابر تعریف کامپوزیت‌ها، این مواد از لایه‌های مجزا و بهم چسبیده‌ای تشکیل شده‌اند که این لایه‌ها می‌توانند هم جهت با یکدیگر یا در جهات مختلف نسبت به هم قرار گیرند. وجود خواص فیزیکی-مکانیکی متفاوت در بین لایه‌ها و اثر گذاری همزمان کرنش‌های عمودی و برشی در میدان جابجایی، باعث می‌شود مواد کامپوزیت لایه‌ای نسبت به مواد ایزوتروپیک رفتار برشی پیچیده‌تری نشان دهند و به همین دلیل به سازه‌های ساخته شده از مواد لایه‌ای، سازه‌های با تغییر شکل عرضی زیاد اطلاق می‌شود. اثر تغییر شکل‌های برشی خارج از صفحه در ورق‌های کامپوزیت با افزایش نسبت ضخامت به طول ورق مشهودتر خواهد بود. پیچیدگی رفتار سازه‌ای مواد لایه‌ای منجر به انجام تحقیقات گسترده‌ای در زمینه مدل‌سازی رفتار این گونه از ورق‌ها شده است. به عنوان مثال محققین به منظور در نظر گرفتن اثرات تغییر شکل‌های برشی عرضی بر تغییر شکل‌های خمشی ورق‌های ضخیم دسته‌ای از تئوری‌ها موسوم به تئوری‌های تغییر شکل برشی را توسعه دادند که از بارزترین آن‌ها می‌توان به تئوری تغییر شکل برشی درجه اول میندیلین [۱] اشاره کرد. این تئوری منجر به حصول کرنش‌ها و تنش‌های برشی خارج از صفحه ثابت در راستای ضخامت ورق می‌شود که در تناقض با صفر بودن این تنش‌ها در سطوح بالایی و پایینی ورق است. این نقص با فرض نمودن ضریب تصحیح برشی k_s در محاسبه تنش برشی ورق و تنها از دیدگاه انرژی اصلاح می‌شود. پس از این تئوری، تئوری‌های مرتبه بالاتر ورق [۲-۴] توسعه پیدا کرد که برای بیان دقیق‌تر تغییر مکان در راستای ضخامت ورق از چند جمله‌ای‌های با درجات بالاتر برای تقریب جابجایی‌های درون صفحه در راستای ضخامت ورق استفاده می‌شود.

به دلیل پیچیدگی تئوری‌های تغییر شکل برشی حل دقیق این گونه از معادلات معمولاً مشکل و در بسیاری از موارد غیر ممکن است. از این رو محققین روش‌های عددی متعددی را برای حل معادلات خمشی ورق‌های کامپوزیتی ضخیم بر اساس تئوری‌های تغییر شکل برشی ارائه داده‌اند. از آن جمله می‌توان به روش المان محدود [۵-۶] و روش نوار محدود [۷] اشاره کرد. کاربرد روش المان محدود در این گونه مسائل نیازمند انتخاب المان‌های مناسب به منظور ارضای شرایط پیوستگی و همسازی و تغییر در شبکه‌بندی دامنه حل به منظور رسیدن به دقت قابل قبول است.