

## تحلیل دینامیکی ورق‌های ایزوتروپ نازک با استفاده از توابع پایه نمایی

عاطفه پیرزاده<sup>۱</sup>، بیژن برومند<sup>۲</sup>

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

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

a.pirzadeh@cv.iut.ac.ir

### خلاصه

در این مقاله، یک روش مرزی بدون شبکه در تحلیل دینامیکی ورق ایزوتروپ نازک به کار گرفته شده است. مزیت این روش قابلیت تحلیل ورق با انواع شکل و شرایط مرزی است. در این روش معادله به دو بخش همگن و خصوصی تقسیم می‌شود. محاسبه پاسخ خصوصی بر روی گره‌هایی مفروض بر کل دامنه حل با استفاده از مجموعه‌ای از توابع پایه نمایی و محاسبه پاسخ همگن به وسیله ارضای شرایط مرزی بر تعدادی از گره‌های مرزی به وسیله مجموعه دیگری از توابع پایه نمایی امکان‌پذیر است. در تحقیق حاضر این روش برای اولین بار در تحلیل ورق در حوزه فرکانس به کار رفته است. در تحلیل انجام شده، با استفاده از تبدیل فوریه سریع معادله دیفرانسیل ورق بر اساس تئوری کلاسیک، به حوزه فرکانس برده می‌شود و پس از تحلیل، با استفاده از تبدیل معکوس فوریه سریع، پاسخ در حوزه زمان محاسبه می‌شود. در انتها چند مثال به منظور نشان دادن کارایی روش، ارائه شده و نتایج آنها با نتایج حاصل از روش المان محدود مقایسه شده است.

**کلمات کلیدی:** ورق ایزوتروپ، توابع پایه نمایی، حوزه فرکانس.

### ۱. مقدمه

کاربرد فراوان ورق در صنایع مختلف موجب رویکرد محققین به تحلیل این عضو سازه‌ای به خصوص تحلیل دینامیکی آن شده است. تئوری‌های مختلفی به منظور ساده‌سازی دامنه تحلیل، توسعه یافته‌اند که با استفاده از آن‌ها می‌توان با حذف بعد ضخامت، معادله دیفرانسیل را از حالت سه بعدی به حالت دو بعدی تبدیل کرد. از میان این تئوری‌ها، تئوری کلاسیک ورق که بر اساس فرضیات کیرشهف [۱] توسعه یافته و در آن از تغییر شکل برشی صرف نظر شده، در مورد ورق نازک نتایج مناسبی دارد. به منظور بالا بردن دقت به خصوص در مورد ورق‌های ضخیم‌تر، با در نظر گرفتن اثر تغییر شکل برشی، تئوری‌های تغییر شکل برشی توسعه یافته‌اند.

با توجه به این که روش‌های تحلیلی در حل معادله دیفرانسیل حاکم بر ورق، تنها در موارد خاصی پاسخگو است؛ روش‌های عددی در این زمینه به کار می‌روند. تحلیل دینامیکی در یکی از سه حوزه زمان، حوزه فرکانس و حوزه لاپلاس امکان‌پذیر است که در هر کدام از یکی از روش‌های حل زمانی یا تبدیل فوریه و تبدیل لاپلاس برای حذف متغیر زمان استفاده می‌شود و یکی از روش‌های تحلیل استاتیکی از جمله روش‌های عددی مانند روش المان محدود، تفاضل محدود و یا روش‌های بدون شبکه در تحلیل به کار می‌رود. در روش تحلیل در حوزه فرکانس متغیر زمان با استفاده از تبدیل فوریه در معادله دیفرانسیل حذف می‌شود و سپس معادله با استفاده از یکی از روش‌های تحلیل استاتیکی تحلیل و پاسخ، با استفاده از تبدیل فوریه وارون، در حوزه زمان محاسبه می‌شود. روش المان محدود در مسائل انتشار موج در حوزه فرکانس دچار ضعف است و استفاده از آن در فرکانس‌های بالا، به دلیل پاشش عددی نامناسب است. از میان تلاش‌های محدودی که در این زمینه صورت گرفته است، می‌توان به تحقیقات دانیال و همکاران [۲] که با استفاده از روش طیفی، مسأله ارتعاش آزاد ورق نازک را بررسی کردند، اشاره کرد. آنها با استفاده از تبدیل فوریه سریع یک تبدیل روی زمان انجام دادند. آنها ورق را حل کردند که در یک راستا نامحدود است و سپس با تبدیل فوریه، روش طیفی را در آن راستا اعمال کردند. لی و لی [۳] مسأله ارتعاش ورق لوی در حوزه فرکانس را مورد توجه قرار دادند. هم‌چنین چاکرابورتی و گپالاکریشنان [۴] ورق کامپوزیت یک طرف نامحدود را در حوزه فرکانس با استفاده از روش طیفی تحلیل کردند.