



شناسایی اشکال مودی با استفاده از تبدیل ارتقاء یافته هیلبرت-هوآنگ

سهیل رمضانی^۱، امید بهار^۲

۱- کارشناس ارشد مهندسی زلزله، فارغ التحصیل پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

۲- استادیار پژوهشگاه سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

s.ramezani@iiees.ac.ir

omidbahar@iiees.ac.ir

خلاصه

در دهه‌های اخیر، انجام آزمایش‌های محیطی به دلیل سهولت انجام و کم هزینه بودن نسبت به آزمایش‌های اجباری، مورد توجه و استقبال بسیاری از مهندسين فعال در زمینه ارزیابی‌های آسیب پذیری و مقاوم‌سازی سازه‌ها قرار گرفته است. بر این اساس روش‌های تحلیلی شناسایی سیستم‌ها که فقط از داده‌های خروجی برای یافتن خصوصیات مودی سازه‌ها استفاده می‌کند، رشد و توسعه قابل ملاحظه‌ای یافته‌اند. در این مسیر یافتن اشکال مودی صحیح در کنار تشخیص فرکانس‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. به طوری که در بسیاری از موارد شناسایی اشکال مودی می‌تواند نقش بسزایی در پذیرش یا رد فرکانس‌های محاسبه شده ایفا کند. در تحقیق حاضر، بر اساس تبدیل ارتقاء یافته هیلبرت-هوآنگ که اخیراً توسط مولفین توسعه داده شده است، یک روش خروجی-تنها برای استخراج اشکال مودی سازه‌های چند درجه آزاد پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی دو مرحله‌ای است؛ در گام اول، یک طیف دامنه-فرکانس موسوم به «طیف حاشیه‌ای ارتقاء یافته میانگین» برای سازه مورد مطالعه استخراج می‌شود. این طیف، حدس اولیه‌ای از فرکانس‌های طبیعی سازه را به دست می‌دهد. در گام دوم صحت فرکانس‌های طبیعی از طریق محاسبه مود شکل‌های متناظر با آن‌ها، تحقیق می‌شود. برای ارزیابی کارایی روش شناسایی پیشنهادی، شتاب‌نگاشت‌های حاصل از آزمایش ارتعاش محیطی انجام گرفته بر روی یک ساختمان پانزده طبقه مورد بررسی قرار گرفته است. برای هر یک از مؤلفه‌های شرقی-غربی، شمالی-جنوبی و پیچشی ساختمان، سه مود شکل اول به همراه فرکانس‌های طبیعی متناظر استخراج شده است. نتایج، نشان دهنده توانمندی بالای روش پیشنهادی در شناسایی اشکال مودی و فرکانس‌های طبیعی متناظر با آن‌هاست.

کلمات کلیدی: تبدیل ارتقاء یافته هیلبرت-هوآنگ، شناسایی سیستم، خصوصیات مودی، شناسایی اشکال مودی

۱. مقدمه

شناسایی سیستم‌های سازه‌ای یکی از موضوعات پویا در محدوده مهندسی زلزله است. روش‌های شناسایی سازه به طور مشخص از تئوری در دو زمینه پردازش سیگنال و دینامیک سازه‌ها بهره می‌گیرند که در این میان پردازش سیگنال نقش مهمی را ایفا می‌کند. تبدیل هیلبرت-هوآنگ به عنوان روشی نوظهور در پردازش سیگنال‌های نامانوا غیرخطی توسعه داده شده است [1]. اخیراً با گسترش این روش، روش‌های شناسایی سازه‌ای نیز براساس آن پیشنهاد شده است [2,3]. تبدیل هیلبرت-هوآنگ از دو بخش تجزیه تجربی مودی و تحلیل طیفی هیلبرت تشکیل شده است. برای ارتقاء عملکرد تبدیل هیلبرت-هوآنگ تاکنون تحقیقات زیادی صورت پذیرفته، اما بیشتر تمرکز این تحقیقات بر روی قسمت تجزیه تجربی مودی بوده [4,5,6] و بر روی قسمت تحلیل طیفی هیلبرت کار نسبتاً کمتری انجام شده است [7].

در هنگام استفاده از تبدیل هیلبرت برای استخراج مشخصه‌های ذاتی سیگنال تجزیه شده از دیدگاه ریاضی، برای اینکه فرکانس‌های آتی به دست آمده از نظر فیزیکی معنادار باشند، باید قضایای بدروسین و نوتال برآورده گردند [7]. هوآنگ و همکاران [7] تبدیل هیلبرت نرمال شده به دامنه را برای در نظر گرفتن شرط قضیه بدروسین پیشنهاد کرده‌اند اما شرط مربوط به قضیه نوتال همچنان برآورده نشده باقی مانده است. برای عدم مواجه شدن با محدودیت قضیه نوتال، هوآنگ در [8] تابع $\arccos$ را به عنوان جایگزین تبدیل هیلبرت در محاسبه تابع فاز پیشنهاد کرده است. اما به علت بی‌نقص نبودن عملیات نرمال‌سازی، مقادیری خارج از دامنه $[-\pi, \pi]$ برای موج حامل به دست می‌آید که مانعی جدی برای استفاده از این تابع می‌باشد. در این مقاله ابتدا روشی پنج مرحله‌ای به نام تبدیل ارتقاء یافته ارائه شده [9,10] که در آن تحلیل طیفی هیلبرت با روشی جدید که مشکلات تبدیل هیلبرت را