تحلیل لرزه‌ای توربین بادی
و بررسی ویژگی‌های دینامیکی آن

احمد شوشتری[۱]، وهاب اسماعیلی[۲]، مصطفی صالحی احمدآباد[۳]

۱ ،۲، ۳- دانشگاه فردوسی مشهد

ahmadshooshtari@yahoo.com

خلاصه

با افزایش رویکرد کشورهای جهان به توسعه‌ی پایدار و انرژی‌های پاک، به‌کارگیری انرژی باد و توربین‌های بادی از اهمیت فراوانی برخوردار شده است. هندسه‌ی برج توربین بادی، ارتفاع زیاد و لاغری آن، چنین سازه‌ای را تحت بارگذاری دینامیکی آسیب‌پذیر می‌سازد. از آن‌جایی‌که بیش‌تر مطالعات در این زمینه، در مناطق غیرزلزله‌خیز انجام شده است، ارزیابی لرزه‌ای برج توربین‌های بادی در کشورهای زلزله‌خیز، مانند ایران، ضروری خواهد بود. شایان توجه است که برج توربین بادی، بایستی به گونه‌ای طراحی شود که بسامد طبیعی آن با بسامد تحریک بخش گردان توربین هم‌گام نشود. بنابراین تعیین دقیق بسامد طبیعی برج، از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مقاله، به مدل‌سازی دقیق توربین‌های بادی با به‌کارگیری نرم‌افزار اجزای محدود OpenSees پرداخته می‌شود؛ و در ادامه، مدل پیشنهادی با نتایج آزمایشگاهی موجود راستی‌آزمایی می‌گردد. بر این پایه، شایستگی مدل پیشنهادی برای تخمین ویژگی‌های دینامیکی توربین بادی مانند بسامدهای طبیعی، شکل مودها و پاسخ آن نشان داده خواهد شد.

کلمات کلیدی: انرژی تجدیدپذیر، توربین بادی، تحلیل لرزه‌ای، روش اجزای محدود، OpenSees

۱. مقدمه

در قرن بیستم میلادی، پروژه‌های پژوهشی فراوانی، به منظور امکان‌سنجی تولید برق از باد، انجام شد [۱]. آغاز تولید برق از انرژی باد در مقیاس صنعتی، به آغاز دهه‌ی هشتاد میلادی بازمی‌گردد. در عصر حاضر، توربین بادی دستگاهی است که وظیفه‌ی تبدیل انرژی جنبشی باد به برق را بر عهده دارد. توربین‌های بادی سازه‌های پیچیده‌ای هستند. در بیش‌تر مواقع نیاز به یافتن جنبه‌های گوناگون پاسخ آن‌ها، مانند تنش‌ها، تغییرمکان‌ها و بسامدهای طبیعی، خواهد بود. این امر به کمک مدل‌های ریاضی ممکن می‌گردد. مدل‌های مختلف با پیچیدگی‌های متفاوت برای کاربردهای گوناگون به کارگرفته می‌شوند. قاعده‌ی کلی آن است که مدل بیش از حد مورد نیاز پیچیده نباشد.

تاریخچه‌ی پژوهش‌های انجام شده را می‌توان در دو دسته‌ی جدا از هم مورد بررسی قرار داد. دسته‌ی نخست مدل‌های ساده می‌باشند که در آن‌ها جرم ناسل و بخش گردان در نوک برج متمرکز می‌شود؛ و دسته‌ی دوم شامل مدل‌های کامل بوده که در آن‌ها جزئیات ناسل و بخش گردان نیز وارد می‌شوند. مدل‌های ساده، به دلیل نداشتن پیچیدگی‌های مدل‌سازی بخش گردان، به کارگرفته می‌شوند. این رویکرد، توربین را به صورت سامانه‌ی یک درجه آزادی توصیف می‌کند؛ از این رو، بیم آن می‌رود که رفتار آن از رفتار واقعی، که از مودهای بالاتر برج اثر می‌پذیرد، دور باشد. مدل‌های کامل، افزون بر دشواری مدل‌سازی، در تفسیر نتایج نیز با پیچیدگی‌هایی مواجهند. افزودن جزئیات باعث انعطاف‌پذیری بیش‌تر مدل می‌شود. این مدل‌ها پیش‌بینی بارگذاری مربوط به دیگر اجزای توربین را نیز ممکن می‌سازد.

هم‌اکنون چندین بسته‌ی نرم‌افزاری برای مدل‌سازی، تحلیل و طراحی توربین‌های بادی وجود دارد. انواع پیشرفته‌ی این نرم‌افزارها دارای توانایی در ایجاد مدل آیروالاستیک کامل شامل پره‌ها و همچنین اعمال بارهای ناشی از جریان‌های آشفته‌ی باد می‌باشند. با افزایش توربین‌های بادی در دریا و در پی پژوهش‌های ون وینجرد و همکاران [۲] و لودک و همکاران [۳]، بارگذاری ناشی از موج و جریان آب نیز در این نرم‌افزارها وارد شده است.

---

[۱] استادیار گروه مهندسی عمران
[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد سازه
[۳] کارشناس ارشد سازه