

### آشنایی با مرکز

مرکز سیستم‌ها و فناوری‌های پیشرفته دانشگاه تهران در سال ۱۳۸۴ تأسیس شده و امروزه به عنوان یکی از بزرگ‌ترین مراکز پژوهشی ایران در حوزه دینامیک و تست و تحلیل سازه شناخته شده است. رسالت این مرکز، توسعه روابط بین صنعت و مراکز پژوهشی بوده تا بتواند چالش‌های صنعتی را با کنارهم قراردادن پژوهشگران، متخصصان، مشاوران و دانشجویان نخبه حل نماید. مرکز CAST با تمرکز بر شیوه‌های محصول محور و پشتیبانی مستقیم دانشکدگان فنی دانشگاه تهران توانسته است در ارائه خدمات مهندسی و پروژه‌های بزرگ در دو پورتفولیوی تست و تحلیل سازه و پورتفولیوی ربایک فعالیت داشته باشد.

### آزمون آنالیز مودال

آزمون مودال یک شیوه‌ی رایج برای شناسایی مشخصات دینامیکی سیستم با استفاده از اعمال یک نیروی معلوم و اندازه‌گیری پاسخ سازه می‌باشد. با اندازه‌گیری ورودی سازه و پاسخ آن، پاسخ فرکانسی سازه محاسبه می‌شود. اندازه‌گیری پاسخ فرکانسی در چند نقطه به صورت همزمان یا جداگانه، داده‌هایی را نتیجه می‌دهد که می‌تواند برای تخمین پاسخ دینامیکی سازه به کار رود. مقیاس تست متغیر بوده و می‌تواند از قطعات الکترونیکی تا سازه‌های بزرگ نظیر پل‌ها را در بر بگیرد. اندازه و هندسه‌ی سازه‌ی تست، نقش مهمی را در انتخاب نحوه‌ی تحریک و سنسورهای اندازه‌گیری ایفا می‌نماید. دو شیوه‌ی رایج آنالیز مودال سازه‌ها شامل ایجاد ضربه از طریق چکش و تست شیکر الکترو دینامیکی می‌باشد. مرکز سیستم‌ها و فناوری‌های پیشرفته‌ی دانشگاه تهران، با سابقه‌ی ۱۷ ساله در ارائه خدمات صنعتی و پژوهشی در حوزه‌ی تست و تحلیل سازه، افتخار همکاری‌های متعددی با شرکت‌های مهندسی معتبر و دانشگاه‌ها دارد و آنالیز مودال با کیفیتی بالا را برای شما تضمین می‌نماید.

## شیوهی انجام تست

برای انجام آنالیز مودال با چکش، نیاز است تا مشخصات فیزیکی و مکانیکی نمونه‌ی تست مورد بررسی قرار بگیرد و با اعمال شرایط مرزی، نمونه برای انجام تست مودال آماده‌سازی شود. برای انجام تست مودال، سنسورهای اندازه‌گیری با توجه به معیارهایی نظیر وزن و هندسه‌ی سازه، دامنه‌ی فرکانسی و ... انتخاب شده و موقعیت نصب سنسورها (با بررسی مقالات، استانداردها، نتایج شبیه‌سازی المان شده توسط کارفرما) انتخاب شده و فرایند تست انجام می‌شود. در حین انجام تست، ضربات و پاسخ دینامیکی سنسورها پایش شده و با اعمال تعداد ضربات معقول و انتخاب پنجره‌گذاری مناسب، تست آنالیز مودال تجربی با چکش انجام می‌شود

جدول ۱: مجموعه تجهیزات به کار رفته برای آنالیز مودال تجربی با چکش

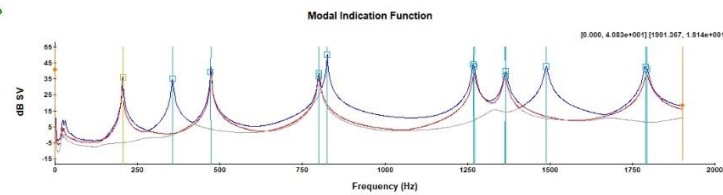


نام دستگاه/سخت افزار/نرم افزار	کشور سازنده/شرکت سازنده/مدل	توضیحات دستگاه
دستگاه چکش مودال	APTech-AU02-Nederland	این دستگاه مجهز به سری‌های مختلف لاستیکی-فلزی-سرامیکی بوده و با نصب سنسور نیروسنج مدل AC21 قابلیت اندازه‌گیری ضربه را دارد.
شتاب‌سنج‌های پیزوالکتریک	APTech-AP2030/AP2019-Nederland	مجموعه سنسورهای پیزوالکتریک، قابلیت اندازه‌گیری فرکانس طبیعی در بازه‌ی ۰.۵ تا ۲۰ هزار هرتز را داشته و در دو وزن ۱.۶ گرم و ۰.۱۴ گرم تعبیه شده‌اند
کارت داده بردار و نرم افزار N Modal	Crystal instruments-Spider80x-USA	قابلیت پشتیبانی از ۸ سنسور با ورودی‌های مختلف نظیر IEPE/AC/DC را داشته و با استفاده از نرم افزار EDM، قابلیت پردازش داده‌ها را به کاربر می‌دهد. همچنین با تحویل خروجی‌های $frf$ به نرم افزار N-Modal می‌توان فرکانس طبیعی، ضریب میرایی (معادل ویسکوز) و شکل مودها را استخراج نمود.

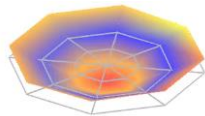
## خروجی تست آنالیز مودال

در صنعت و مقالات پژوهشی، آنالیز مودال تجربی به صورت مکمل آنالیز مودال عددی مطرح می‌شود و مشخصات دینامیکی سیستم، نظیر فرکانس‌های طبیعی، شکل مودها و ضریب میرایی با پیاده‌سازی الگوریتم MIF توسط نرم‌افزار N-Modal قابل دسترسی می‌باشد. در ادامه نمونه‌ای از خروجی‌های آنالیز مودال دیسک دایروی متقارن آورده شده است.

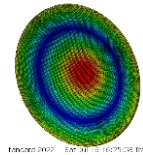
داده‌های خروجی بسته به شرایط تست می‌تواند متفاوت باشد و با مشورت کارفرما خروجی تعیین می‌شود. در ادامه کامل‌ترین خروجی تست مودال، شامل فرکانس طبیعی، شکل مود تجربی و ضرایب میرایی آورده شده است.



نمودار MIF



$$\omega_{Experimental} = 355.6Hz$$



$$\omega_{Numerical} = 350.54Hz$$

No. #	Frequency (Hz)	Damping (%)	Modal A
Φ Mode 1	205.27	0.42	2.48e+03 + 1.04e+03i
Φ Mode 2	355.60	0.54	-1.83e+02 + 3.32e+03i
Φ Mode 3	471.76	0.23	-5.96e+03 - 2.12e+03i
Φ Mode 4	799.42	0.32	-1.44e+01 + 7.18e+03i
Φ Mode 5	799.66	0.33	-7.10e+03 - 2.20e+03i
Φ Mode 6	824.59	0.17	-9.88e+02 + 4.77e+03i
Φ Mode 7	1266.75	0.21	-1.98e+03 + 1.29e+04i
Φ Mode 8	1270.89	0.19	2.01e+03 + 1.47e+04i
Φ Mode 9	1363.69	0.31	6.31e+03 + 1.12e+04i
Φ Mode 10	1365.46	0.29	6.03e+03 + 1.36e+04i
Φ Mode 11	1488.69	0.29	-7.45e+02 + 1.57e+04i
Φ Mode 12	1794.64	0.24	-3.87e+03 + 1.64e+04i

جدول فرکانس‌های طبیعی، ضریب میرایی و ثابت مودال شناسایی شده از مود اول تا مود دوازدهم.