

استخراج مشخصه های دینامیکی ساختمان نمونه به کمک تست ارتعاش محیطی

نویسنده اول^۱، نویسنده دوم^{۲*}

۱- مرتبه علمی، دانشکده، دانشگاه، نام شهر، نام کشور، پست الکترونیکی، شماره تلفن/دورنگار

۲- مرتبه علمی، دانشکده، دانشگاه، نام شهر، نام کشور، پست الکترونیکی، شماره تلفن/دورنگار

چکیده

پایش سلامت سازه بعنوان یکی از راهکارهای نگهداری و افزایش طول عمر سازه ها در سالهای اخیر کاربرد فراوانی داشته است. داده های بدست آمده از این فرآیند استفاده های گوناگونی دارد که در این مقاله هدف استخراج مشخصه های دینامیکی سازه از جمله فرکانس، شکل مود و نسبت میرایی بوسیله تست ارتعاش محیطی بر روی سازه بیمارستان امام حسین (ع) که بر روی جدا ساز در شهر مشهد ساخته شده است، می باشد. از داده های بدست آمده از تست ارتعاش محیطی می توان برای پایش سلامت سازه، مقاوم سازی و عیب یابی بهره برد. استفاده از داده های جمع آوری شده از سازه ها با گذشت زمان در حال گسترش می باشد. تست های ارتعاش محیطی با توجه به اینکه نیروی ورودی به سازه وارد نمی کند و در حال بهره برداری نیز قابل انجام است بر روی گستره بسیاری از سازه ها از جمله ساختمان های قدیمی، پل ها، سدها، دودکش ها و بسیاری از سازه های دیگر برای پایش سلامت بکار برده می شود. البته پایش سلامت برای برخی از انواع سازه ها بصورت پیوسته صورت می گیرد در حالی که برای برخی دیگر بصورت دوره ای صورت می پذیرد. رکوردهای بدست آمده از سازه ها به کمک دستگاه اکتساب داده حاوی اطلاعات فروانی از مشخصه های ذاتی سازه می باشد که به مرور بشر با کاربردهای آن آشنا می شود. برای مقایسه نتایج بدست آمده از روش های عددی با نتایج تحلیلی، مدل سازی این ساختمان در محیط OpenSEES صورت گرفت که سازگاری خوبی بین نتایج بدست آمده وجود داشت.

کلمات کلیدی

پایش سلامت سازه، ارتعاش محیطی، اکتساب داده، ساختمان جداسازی شده

۱- مقدمه

امروزه با پیشرفت تکنولوژی در عرصه‌های گوناگون علی‌الخصوص برق و کامپیوتر، بکارگیری و استفاده مناسب از آن‌ها در رشته‌های مختلف بسیار فراگیر شده است. در رشته مهندسی سازه، استفاده از تکنیک پایش سلامت سازه در کشورهایی که در برابر بلایای طبیعی (از جمله زلزله و باد) پرخطر محسوب می‌شوند و علی‌الخصوص برای ساختمان‌هایی که حین رخداد چنین بلایی باید دارای خدمت رسانی بی‌وقفه باشند از جمله بیمارستان‌ها، بسیار حائز اهمیت است. از جمله کارکردهای بکارگیری این تکنیک در ساختمان‌ها، می‌توان به برآورد وضعیت سازه، تعیین میزان و مقدار خرابی، تعیین عمر باقیمانده سازه، پایش سلامت لحظه‌ای سازه، شناسایی پارامترهای سازه‌ای و ... اشاره کرد. استفاده از روش تحلیل مودال تجربی^۱ (یا کلاسیک) (EMA) در سازه‌های بزرگ مهندسی عمران غیرممکن است و به همین خاطر استفاده از این روش میسر نمی‌باشد. در عوض تحلیل مودال تجربی، تحلیل مودال بهره برداری^۲ (OMA) برای سازه‌های عمرانی بکار برده می‌شود. بزرگترین امتیاز تحلیل مودال بهره برداری، عدم نیاز به اندازه‌گیری تحریک است.

پارامترهای مودال (مقادیر ویژه، بردارهای ویژه و میرایی مودال) را می‌توان هنگامی که سازه بوسیله اثرات محیطی (باد، جریان آب و غیره) یا تکنولوژی (ترافیک، حرکت عابرین پیاده) تحریک شده است، تخمین زد. تنها شرطی که باید ارضا شده باشد این است که تحریک بصورت نویز سفید رفتار کند. تحریک محیطی بعنوان یک فرآیند تصادف دائمی دارای طیف فرکانس مسطح فرض شده است. روشهای ورودی- خروجی دارای امتیاز جلوگیری از اثرات نویز روی پاسخ سازه می‌باشند که روشهای خروجی تنها دارای این امتیاز نمی‌باشند. با این وجود، راه حل‌های ورودی- خروجی پرهزینه تر از راه حل‌های خروجی تنها می‌باشند و معمولاً در بهره برداری از سازه حین انجام تست، اختلال ایجاد می‌کنند. راه حل‌های خروجی تنها امکان پایش سلامت سازه بصورت پیوسته و بی‌وقفه را به علت اینکه پاسخ سازه را می‌تواند تحت شرایط بهره برداری اندازه‌گیری کند، مهیا می‌کند. با این وجود، روشهای خروجی تنها دارای معایبی هستند که از آن جمله نیروهای تحریک معلوم نیستند و اغلب توانایی به تحریک درآوردن مودهای فرکانسی بالای سازه را ندارند [۱].

اکثر شیوه‌های عیب‌یابی محلی، برای پایش سازه‌های عمرانی بزرگ خیلی کاربردی نیستند. بطور ایده‌آل، طرح‌های پایش سلامت سازه برپایه ارتعاش با تکنیک‌های عیب‌یابی محلی بصورت متوالی و سری بکار می‌روند. پایش سلامت سازه برپایه ارتعاش در ابتدا برای تحلیل خسارت کلی سازه بکار می‌رود و سپس خسارت، شناسایی و موقعیت‌یابی خواهد شد، تکنیک‌های محلی برای یافتن ابعاد خسارت مورد استفاده قرار می‌گیرند. رایج‌ترین ابزارهای جمع‌آوری داده برای عیب‌یابی بر پایه ارتعاش، سنسورهای تغییرمکان و شتاب هستند. این ابزارها سیگنال‌های تاریخچه زمانی شتاب یا تغییرمکان سازه را اندازه‌گیری می‌کند و آنها را به سیگنال‌های ولتاژ تبدیل می‌کند. جرم و ابعاد سیستم جمع‌آوری داده باید در مقایسه با جرم سازه کوچک باشد تا با پاسخ خروجی تداخل نکند. برای سازه‌های عمرانی، شتاب‌سنجها رایج‌ترین ابزار جمع‌آوری داده به شمار می‌آید. این بدین خاطر است که شتاب‌سنجها توانایی کارکرد در حیطه وسیعی از پاسخ‌های فرکانس، سادگی نصب و صحت بالای اندازه‌گیری را دارا می‌باشند. دو نوع شتاب‌سنج در بازار دسترس است، یکی که شتاب را بر پایه اندازه‌گیری توان خازن و دیگری که از تغییرشکلهای پیزو الکتریک بهره می‌برد. با استفاده از داده‌های بدست آمده از دستگاه اکتساب داده، می‌توان از روشهای گوناگون در حوزه زمان و یا حوزه فرکانس مشخصه‌های دینامیکی سازه‌ها را بدست آورد.

۲- تحلیل مودال بهره برداری حوزه فرکانس

تعداد زیادی از فن‌آوری‌های تحلیل مودال حوزه فرکانس در ادبیات فنی وجود دارد. ساده‌ترین تکنیک، به نام انتخاب پیک، فرکانس‌های طبیعی سازه را بوسیله یافتن پیک‌های گراف طیف پاسخ توان استخراج می‌کند. در تئوری، هر پیک با یک مود طبیعی سازه متناسب می‌باشد. محدودیت اصلی این تکنیک ناتوانی در تمیز دادن بین فرکانس مودهایی است که از نظر مقدار به هم بسیار

¹ Experimental Modal Analysis

² Operational Modal Analysis

نزدیک هستند. علاوه بر این، استفاده از این تکنیک برای سازه هایی امکان پذیر است که دارای مقادیر میرایی کمی باشند. دومین گروه از تکنیک های تحلیل مودال بهره برداری حوزه فرکانس، تجزیه مقدار تکین ماتریسی که شامل طیف عرضی خروجی پاسخ سازه است. این روش تجزیه حوزه فرکانس^۱ (FDD) نامیده می شود. بعد از اینکه تجزیه مقدار تکین انجام گرفت، شکل مودها و فرکانس های مقیاس شده به دست می آیند. روشهای از نوع تجزیه مقدار تکین^۲ همچنین امکان استخراج میرایی مودال را مهیا می کنند. این روشها دارای امتیازاتی نسبت به روشهای انتخاب پیک حداکثر هستند که نه فاصله نسبتا کم مقادیر فرکانس طبیعی و نه مقادیر زیاد میرایی خللی در آن ایجاد نخواهد کرد. با این وجود، نقص اصل تکنیک های از نوع تجزیه مقدار تکین این است که مقادیر میرایی بدست آمده، تحت تاثیر نویز قرار گرفته باشد. سومین گروه از تکنیک های تحلیل مودال بهره برداری در حوزه فرکانس که امکان استخراج شکل مودها و فرکانس را به کمک یک تقریب مهیا می کند، حداقل مربعات تخمین حوزه فرکانس مختلط (LSCF) نامیده می شود.

۳- مشخصات سازه ی مورد مطالعه

هر مقاله تست ارتعاش محیطی بر روی سازه بیمارستان امام حسین(ع) که در شهر مشهد قرار دارد، صورت گرفت. این ساختمان بر روی جداسازهایی از جنس جداساز باهسته سربی و همچنین جداساز با میرایی زیاد^۳ که توسط شرکت رابینسون ساخته شده، مورد استفاده قرار گرفته است. در این ساختمان از ۵۵ عدد جداساز با هسته سربی و همچنین ۲۵ عدد جداساز با میرایی زیاد استفاده شده است. قطر جداسازهای بکار گرفته شده ۸۰ سانتی متر و هسته سربی آنها دارای قطر ۲۰ سانتی متر می باشد. جداسازها بر روی ستونچه های بزرگ بتنی قرار گرفته اند و روی جداساز اسکلت فلزی قاب خمشی استفاده شده است. پرکاربردترین تکنیک شناسایی مودال برای تست های ارتعاش محیطی در حوزه فرکانس، تجزیه حوزه فرکانس و انتخاب پیک هستند[۲].

۴- تست ارتعاش محیطی بیمارستان

برای انجام تست ارتعاش محیطی از دستگاه اکتساب داده (شکل ۱) به همراه سنسورهای شتاب سه محوره و تک محوره با تاییدیه کالیبراسیون بهره گرفته شد. با توجه به رجوع به منابع، مشخص شد که طول مدت زمان رکورد تست ارتعاش محیطی برای استخراج مشخصه های دینامیکی سازه باید بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ برابر پریود مود اول باشد. فرکانس نمونه برداری برای کارهای ساختمان معمولا با توجه به فرکانس نایکوئیست ۱۰۰ یا ۲۰۰ هرتز در نظر گرفته می شود که در این تست برابر ۱۰۰ هرتز در نظر گرفته شد. با توجه به محدودیت های موجود در رابطه باتعداد سنسورها (دو سنسور تک محوره و یک سنسور سه محوره) و همچنین طول کابل ها که ارتباط بین دستگاه اکتساب داده (شکل ۲) را با سنسورها برقرار می کرد، در هر دو کف تنها یک سنسور در یک جهت بکار گرفته شد و ضبط داده در جهت عمود بر راستای اولیه با چرخاندن سنسورها به مقدار ۹۰ درجه مجدد صورت می گرفت. با توجه به تعداد طبقات روسازه و اینکه در نظر داشتیم در هر رکورد، داده های هر راستا در کل ارتفاع سازه را داشته باشیم، فلذا یک کف در میان از سنسور استفاده کردیم (شکل ۳).

¹ Frequency Domain Decomposition

² Singular Value Decomposition

³ High Damping Rubber Bearing



شکل ۱. تصویر دستگاه اکتساب داده به کار رفته در تست بیمارستان

Resolution:	24 Bit
Communication Interface:	Ethernet
No of Channels:	4/8/16 Channels in one box
Type of Measurement:	Differential
Synchronization:	True Simultaneous
Sampling Rate:	2 kHz (2000 sps) / Channel
Filtering:	Anti-Aliasing / Low Pass
Dynamic Range	140dB
Measurement Range:	$\pm 5.5V$ (ATT version), $\pm 17.2 mV$ to $\pm 12 V$ user selectable (PGA version)
Channel Gain	1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 -each channel can be set independently (PGA option)
Sensor Excitation:	+5V, +12V, -12V
Power:	12V DC, maximum 40W
Connector Structure:	9 pin circular IP67 push pull connector
Working Temperature:	-25°C-66 °C
Storage Temperature:	-25°C-66 °C
Enclosure:	Ex-proof mobile casing complies with "IATO Cage Code A7423"
Memory Option	Limited by USB flash disk capacity
Microprocessor	ARM Cortex, embedded Linux operating system

شکل ۲. مشخصات دستگاه اکتساب داده به کار رفته در تست بیمارستان

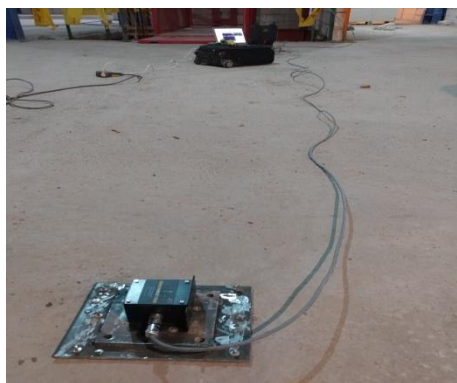
**SENSEBOX 7021, $\pm 3g$, 130 dB @ 0,1 – 120 Hz,
135 dB @ 0,1 – 10 Hz, Uniaxial Accelerometer**

**SENSEBOX 7023, $\pm 3g$, 130 dB @ 0,1 – 120 Hz,
135 dB @ 0,1 – 10 Hz, Triaxial Accelerometer**

شکل ۳. مشخصات سنسورهای بکار رفته در تست بیمارستان

۵- مشخصه رکوردهای بدست آمده

رکوردهای شتاب بدست آمده از سازه بیمارستان در دو جهت عمود نسبت به راستاهای اصلی سازه با طول مدت زمان ۲۰۰۰ ثانیه و نمو زمانی ۰/۰۱ ثانیه برداشت شد. سه سنسور وظیفه این تست را بر عهده داشتند که با توجه به دو راستای عمود بر هم، در مجموع ۶ رکورد برای این سازه بدست آمد. با استفاده از روش حوزه فرکانس انتخاب پیک^۱ مقادیر فرکانس های اصلی را در هر دو راستا بدست می آوریم. شکل مودهای نظیر فرکانس های بدست آمده توسط کد نویسی در متلب بدست می آید. با استفاده از تکنیک تجزیه مقدار تکین از ماتریس چگالی طیف توان^۲ مقادیر ویژه و بردارهای ویژه بدست می آید (شکل ۴).



(ب)



(الف)

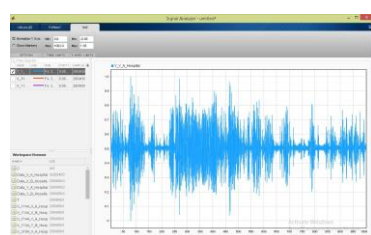
شکل ۴. (الف) تجهیزات تست ارتعاش محیطی؛ (ب) سنسور تک محوره

¹ Peak-Picking

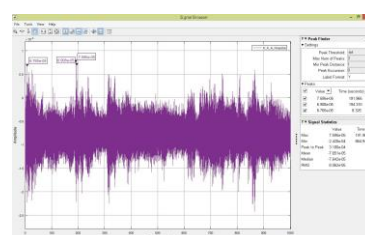
² Power Spectral Density

۶- ایجاد مدل تحلیل

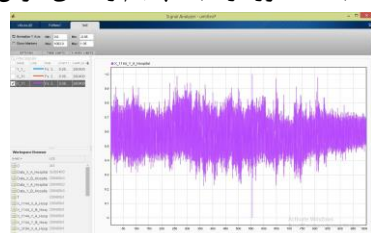
برای ایجاد مدل تحلیلی با توجه به در دست داشتن نقشه های چون ساخت^۱ از نرم افزار متن باز OpenSEES استفاده گردید. آنالیز مودال به کمک این نرم افزار با المان های فایبر خطی انجام گردید و مشخصات دینامیکی سازه استخراج گردید (شکل ۵). جداسازهای با هسته سربی با استفاده از تعدادی مدل های تحلیلی، از سادگی مدل خطی معادل متشکل از سختی مؤثر و نسبت میرایی معادل که توسط هوآنگ در سال ۱۹۹۶ میلادی فرمول بندی شد تا پیچیدگی فرمولاسیون اجزای محدود که توسط سالومون در سال ۱۹۹۹ میلادی ایجاد شد، ارائه شده اند. اما، گسترده ترین مدل اتخاذ شده برای تحلیل سازه های با جداساز لرزه ای، چرخه هیسترتیک نیرو جابجایی دوخط ایده آل سازی شده می باشد [۳].



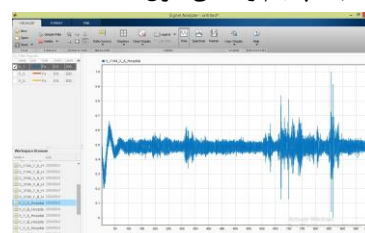
(ب) سنسور در طبقه پنجم راستای عرض



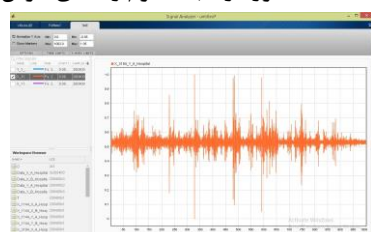
(آ) سنسور در طبقه پنجم راستای طول



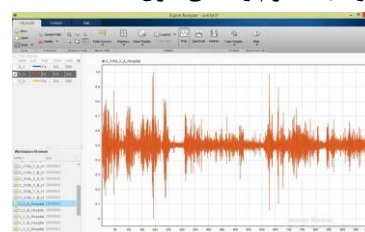
(د) سنسور در طبقه سوم راستای عرض



(ج) سنسور در طبقه سوم راستای طول



(ه) سنسور در طبقه اول راستای طول



(و) سنسور در طبقه اول راستای عرض

شکل ۵. رکوردهای برداشت شده از سازه بیمارستان در دو راستای اصل ساختمان و در طبقات مختلف

¹ As-Built

الگوریتم های موجود پایش سلامت سازه در مقالات را می توان در دو گروه اصلی دسته بندی کرد: روشهای پارامتری و غیر پارامتری. در پایش سلامت سازه پارامتری، مدل ریاضی حاکم بر رفتار سازه ای شناخته شده است و برای شناسایی تغییرات محتمل در پارامترهای سازه ای نسبت به مدل مرجع برای یافتن و موقعیت عیب راهگشاست. در مقابل، روشهای غیرپارامتری ورودیهای سازه را به خروجیها بدون هیچگونه اطلاعاتی در مورد مدل داخل سازه نگاشت می کند. خسارت بوسیله شناسایی تغییرات در پارامترهای ذاتی یا مدل غیر-فیزیکی ساخته شده، بدست می آید. با این وجود، مدل های غیر پارامتری نمی توانند موقعیت خسارت را بدون اطلاعات قبلی مشخص کنند. تمامی حالت های محتمل خسارت و پاسخ های متناسب سازه ای در دسترس است. اما، امتیاز بارز روشهای پایش سلامت سازه غیرپارامتری نسبت به نگرشهای پارامتری، توانایی آنها در لحاظ کردن دینامیک کامل سازه شامل دینامیک ساده شده یا مدل سازی نشده می باشد [۴].

روشهای زیاد دیگری در حوزه های زمان یا فرکانس در سایه تئوری تحلیل سیستم توسعه داده شده اند. ساده ترین آنها تفکیک حوزه فرکانس (FDD) نامگذاری شده و شامل تفکیک ماتریس های توان (قدرت) چگالی طیفی (تراکم توان طیفی) به سیستم های یک درجه آزادی به کمک مقدار تکین است. ماتریس های تراکم توان طیفی (PSD) تبدیل های فوریه ای از ماتریس های همبستگی بین تمامی سیگنال های ثبت شده همزمان هستند، به نحوی که هیچ مدل ارجحیت نداشته باشد. ماتریس های چگالی توان طیفی، سیگنال های ورودی (نامشخص) و خروجی (ثبت شده)، توابعی از فرکانس زاویه ای ω را می توان به ترتیب به صورت $[X](\omega)$ و $[Y](\omega)$ ذکر کرد [۵]. از نرم افزار مخصوص آنالیز مودال تحت عنوان آرتیمیس مودال استفاده می شود. نتایج سه روش از تجزیه حوزه فرکانس و سه روش از شناسایی زیرفضای اتفاقی با یکدیگر مقایسه شده و مورد تحلیل قرار گرفته اند.

۷- نتایج مدل تحلیلی و عددی

۷-۱- نمودار پایداری

از این نمودار برای شناسایی از نوع پارامتری بهره برده می شود. با افزایش مرتبه مدل مقادیر فرکانس های سیستم بدست می آید که امکان انتخاب مودهای اصلی واقعی از غیر واقعی و نویز را میسر می سازد. جدول ۱. فرکانس ها و میرایی بدست آمده با روش های مختلف تجزیه حوزه فرکانس با نرم افزار ARTeMIS نشان می دهد. جدول ۲. فرکانس ها و میرایی بدست آمده با روشهای مختلف شناسایی زیرفضای اتفاقی با نرم افزار ARTeMIS نشان می دهد. جدول ۳. فرکانس ها و میرایی بدست آمده از نرم افزار OPENSEES نشان می دهد.

جدول ۱. فرکانس ها و میرایی بدست آمده با روش های مختلف تجزیه حوزه فرکانس با نرم افزار ARTeMIS

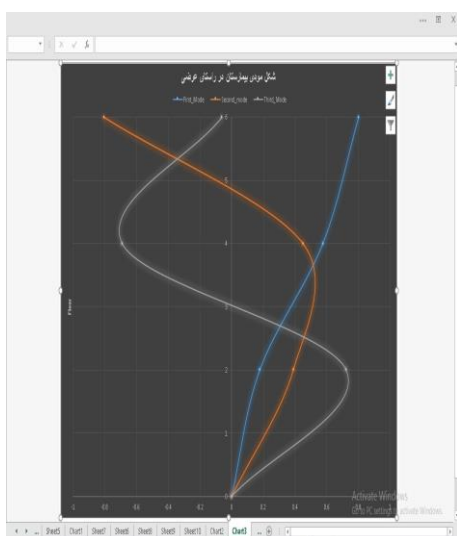
Modes	Method	Frequency(Hz)	Period(Sec)	Damping(%)
اول	FDD	۰/۸۷۷	۱/۱۴	-
	EFDD	۰/۸۷۸	۱/۱۳۹	۰/۲۳۱
	CFDD	۰/۸۷۸	۱/۱۳۹	۰/۲۷۸
دوم	FDD	۰/۹۲۳	۱/۰۸۳	-
	EFDD	۰/۹۲۶	۱/۰۸	۰/۳۶۹
	CFDD	۰/۹۲۶	۱/۰۸	۱/۱۸۱

سوم	FDD	۲/۴۸۷	۰/۴۰۲	-
	EFDD	۲/۴۹۶	۰/۴	۰/۵۹۲
	CFDD	۲/۴۹۳	۰/۴۰۱	۰/۲۵۷
چهارم	FDD	۴/۱۴۶	۰/۲۴۱	-
	EFDD	۴/۱۴۶	۰/۲۴۱	۰/۰۹۵

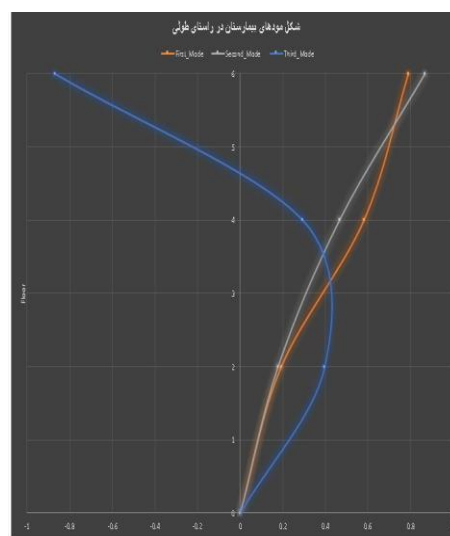
۸- معیار اطمینان مودال^۱

معیار اطمینان مودی بصورت یک ثابت اسکالر تعریف می‌شود که درجه سازگاری (خطی بودن) نشان می‌دهد. معیار اطمینان مودی مقادیری از صفر که نشان دهنده بدون تشابه سازگاری و یک که نشان دهنده تشابه متناظر می‌باشد، به خود می‌گیرد. در این شیوه، اگر بردارهای مودی تحت بررسی به درستی ارتباط تشابه و خطی را نشان دهد، معیار اطمینان مودی باید به مقدار یک نزدیک شود و مقدار ضریب مقیاس مودی می‌تواند منطقی در نظر گرفته شود. باید توجه داشت که علیرغم محاسبات تعامد، معیار اطمینان مودی بوسیله اندازه بردارها نرمالیزه شده است و بنابراین بین مقدار صفر و یک محدود شده است (شکل های ۶-۸).

$$MAC = \frac{|\{\psi_{cr}\}^T \{\psi_{dr}^*\}|}{\{\psi_{cr}\}^T \{\psi_{cr}^*\} \{\psi_{dr}\}} \quad (۱)$$



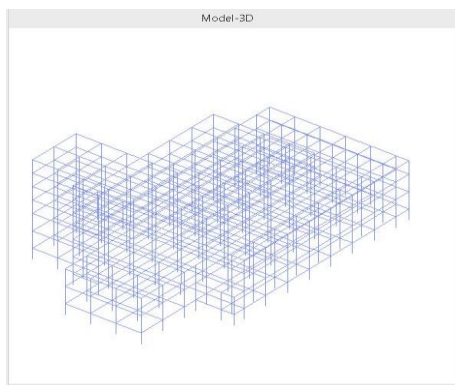
(ب)



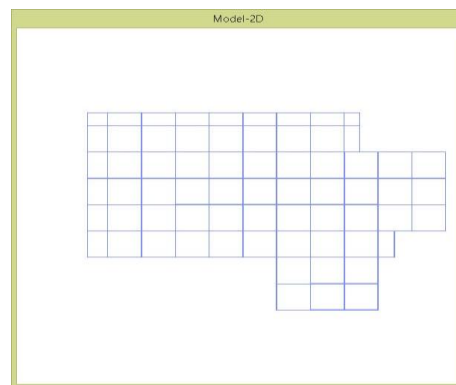
(الف)

شکل ۶. (الف) شکل مودی در راستای طولی ساختمان؛ (ب) شکل مودی در راستای عرضی ساختمان

¹ Modal Assurance Criterion



(ب)



(الف)

شکل ۷. (الف) پلان مدلسازی شده؛ (ب) نمای سه بعدی مدلسازی شده

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
===== phd Thesis of HAMED SARMAST =====
End of Define Nodes
End of Define Elements
End of Define Elements
=====
T = 1.1921878842714742 sec
u = 5.278297984293456 rad/sec
=====
T = 1.153154688711481 sec
u = 5.448692583711326 rad/sec
=====
T = 0.926897822384541 sec
u = 6.778738787145697 rad/sec
=====
T = 0.481484783443789 sec
u = 13.051772825886288 rad/sec
=====
T = 0.4715886223161381 sec
u = 13.323445588328183 rad/sec
=====
T = 0.4056142739422243 sec
u = 13.738294921339836 rad/sec
=====
T = 0.27828322485892 sec
u = 22.578383467379783 rad/sec
=====
T = 0.2948378143467983 sec
u = 22.861496814848725 rad/sec
=====
=====Frame Model Have Been Built Successfully=====
=====
End of script (D:\CIU\IL\phd) reached. Press any key to continue
  
```

شکل ۸. نتایج خروج آنالیز مودال بیمارستان با استفاده از SEESNEPO

جدول ۲. فرکانس ها و میرایی بدست آمده با روشهای مختلف شناسایی زیرفضای اتفاقی با نرم افزار ARTeMIS

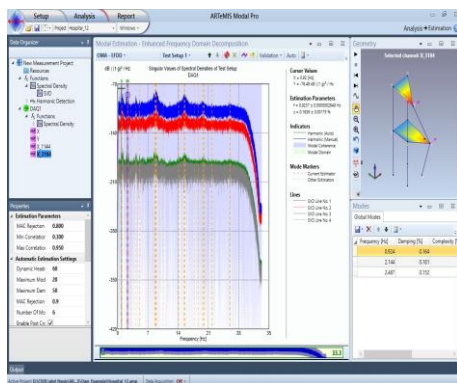
Modes	Method	Frequency(Hz)	Period(Sec)	Damping(%)
اول	SSI/UPC	۰/۸۹۵	۱/۱۱۷	۱/۷۹۳
	SSI/CVA	۰/۸۹۵	۱/۱۱۷	۱/۱۳۸
	SSI/PC	۲/۲۰۱	۰/۴۵۴	۲/۷۴۹
دوم	SSI/UPC	۱/۰۰۹	۰/۹۹۱	۸/۹۷۸
	SSI/CVA	۲/۱۵۶	۰/۴۶۴	۲/۵۰۱
	SSI/PC	۲/۵۴۲	۰/۳۹۳	۱/۹۳۴
سوم	SSI/UPC	۲/۱۹۰	۰/۴۵۶	۳/۵۳۷
	SSI/CVA	۲/۵۲۹	۰/۳۹۵	۱/۶۹۶

	SSI/PC	۳/۱۴۲	۰/۳۱۸	۲/۱۶۲
چهارم	SSI/UPC	۲/۵۶۲	۰/۳۹۰	۲/۱۲۵
	SSI/CVA	۵/۰۲۶	۰/۱۹۹	۲/۴۹۰

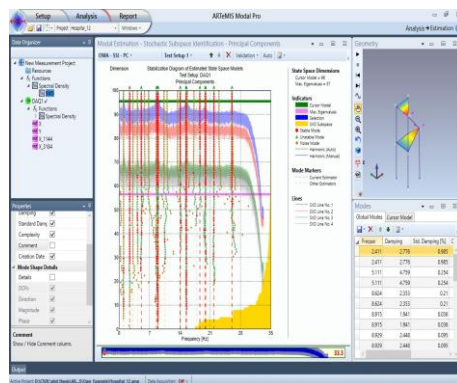
جدول ۳. فرکانس ها و میرایی بدست آمده از نرم افزار OPENSEES

Modes	Frequency(Hz)	Period (Sec)	Damping(%)
اول	۰/۸۳۹	۱/۱۹۲	-
دوم	۰/۸۶۷	۱/۱۵۳	-
سوم	۱/۰۷۸	۰/۹۲۷	-
چهارم	۲/۰۷۹	۰/۴۸۱	-
پنجم	۲/۱۸۸	۰/۴۵۷	-
ششم	۳/۵۹۷	۰/۲۷۸	-

معیار اطمینان مودی تنها می تواند تشابه را نشان دهد و قادر به نمایش اعتبار و تعامد مودها نیست. اگر خطاهای، اتفاقی یا بایاس، در تخمین تمامی بردارهای مودی وجود داشته باشد این خطاها در معیار اطمینان مودی قابل نمایش نمی باشد (شکل ۹). فرضیات غیر معتبر بطور معمول سبب این نوع خطای بالقوه هستند. با وجود اینکه معیار اطمینان مودی یک باشد، فرضیات که شامل تکنیک های تخمین سیستم یا پارامترهای مودال الزاما صحیح نیستند (شکل ۱۰). این فرضیات ممکن است سبب ایجاد خطاهای تشابه در تمامی بردارهای مودال تحت تمام شرایط تایید شده تست بوسیله معیار اطمینان مودی بشود [۶]. برای اکثر سازه ها چه بتنی و چه فلزی، مدل میرایی متناسب بطور معمول یک تخمین مناسب است. شکل ۹. (الف) نتایج روش شناسایی زیرفضای اتفاقی، (ب) نتایج روش تجزیه حوزه فرکانس را نشان می دهد.



(ب)



(الف)

شکل ۹. (الف) نتایج روش شناسایی زیرفضای اتفاقی، (ب) نتایج روش تجزیه حوزه فرکانس

درچنین مواردی شکل مودها مقادیر حقیقی هستند و این بدان معناست که مقادیر حداکثر و حداقل در یک زمان حین حرکت شکل مودی رخ می‌دهد. اگر شکل مودها مختلط بودند، می‌تواند در اثر یک یا چند دلیل زیر باشد:

- میرایی غیرمتناسب
- اندازه‌گیری نامناسب یا تخمین ضعیف پارامترهای مودال
- داده‌های متناقض بعنوان مثال شرایط زمانی متغیر

مسیر دیگر، مشاهده تمام مولفه‌های شکل مودی در صفحه مختلط می‌باشد. به این نوع نمودار، رسم مختلط گفته می‌شود. هر مولفه شکل مودی بوسیله یک بردار که از (۰،۰) شروع می‌شود و اشاره به مقدار حقیقی و موهومی مولفه شکل مودی دارد، نشان داده می‌شود. آن مولفه‌ای که مقدار حقیقی دارد باید در راستای افقی قرار گیرد بنابراین مقدار مختلط توسط مولفه قائم نشان داده می‌شود. یک معیار برای پیچیدگی شکل مودی وجود دارد. به این معیار پیچیدگی، ضریب پیچیدگی مودی گفته می‌شود و برای یک مود بصورت زیر تعریف شده است:

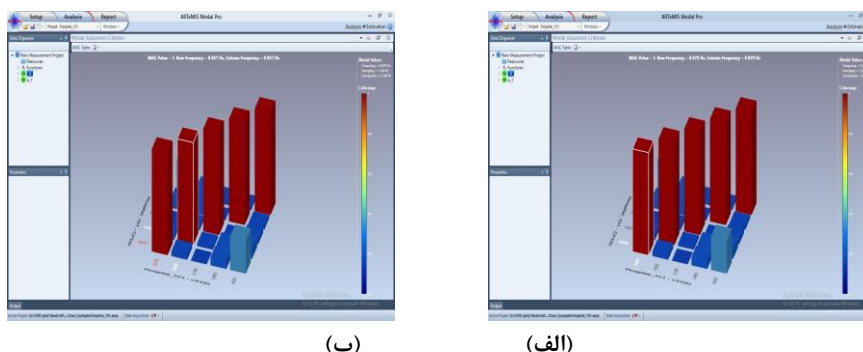
$$MCF_r = 1 - \left[\frac{(S_{xx} - S_{yy})^2 + 4 \times (S_{xy})^2}{(S_{xx} + S_{yy})^2} \right] \quad (۲)$$

$$S_{xx} = Re\{\psi_r\}^T Re\{\psi_r\}$$

$$S_{yy} = Im\{\psi_r\}^T Im\{\psi_r\}$$

$$S_{xy} = Re\{\psi_r\}^T Im\{\psi_r\}$$

این مقدار، بین صفر (مود حقیق) و یک (مود موهومی) قرار دارد و در قالب درصد ارزیابی می‌شود. بنابراین برای مودهای حقیقی این ضریب باید غالباً نزدیک به صفر باشد.



(ب)

(الف)

شکل ۱۰: (الف) معیار اطمینان مودال؛ (ب) معیار اطمینان مودال

۹- نتیجه‌گیری

همیشه در کارهای تجربی از جمله پایش سلامت سازه، تعداد سنسورها و تجهیزات بر دقت کار تاثیر بسزایی می‌گذارد که در این تحقیق با توجه به تعداد سنسورهای موجود، امکان بدست آوردن مودهای پیچشی وجود نداشت. برای مودهای انتقال حداقل یک سنسور برای هر دو کف الزامی بود و برای کف‌هایی که سنسور وجود نداشت، از درون یابی خطی استفاده شد. در این سازه خاص با جداسازهای بکار رفته، با توجه به سختی افقی جداسازهای با هسته سربی برای تست های ارتعاش محیطی، امکان حرکت جداسازها وجود نداشت فلذا تفاوت چندان با سازه های تکیه گاه گیردار نکرد. البته اگر از جداسازهای با هسته سربی استفاده نمی‌شد و امکان حرکت جداسازها ناشی از ارتعاشات محیطی وجود داشت این تفاوت به خوبی نمایان بود، ولی با فلسفه طراحی این تجهیزات مغایرت داشت. درصد میرایی بحرانی برای مودها در دو روش تجزیه حوزه فرکانس و شناسایی زیرفضای اتفاقی، تفاوت زیادی داشت که این امر می‌تواند ناشی از فیلتری باشد که در روش تجزیه حوزه زمان بکار گرفته می‌شود و بخش مهمی از انرژی سیگنال حذف می‌شود. مساله بعدی که در این تحقیق باید بدان اشاره کرد، بحث مدل سازی به کمک نرم افزار است که با توجه به اطلاعات کسب شده بارگذاری ها صورت گرفت که در عمل ممکن است مطابقت کاملی با آنچه اجرا شده است نداشته باشد و اینکه هیچ اختلافی بین روش عددی و تحلیلی وجود نداشته باشد، واقع بینانه نیست. جانمایی سنسورها هم تا حد امکان سعی شد در مرکز جرم طبقات گذاشته شود تا بدون توجه به وضعیت دیافراگم ها (صلب، نیمه صلب و انعطاف پذیر) داده ها را برداشت کرد.

مراجع

- [1] A. P. Ojeda, MATLAB implementation of an operational modal analysis technique for vibration-based structural health monitoring. Ph.D. thesis, Massachusetts Institute of Technology, (2012).

- [2] S. Kiriyaama, S. Naito, and Y. Tamura, Influence of vibration methods, structural components and excitation amplitude on modal parameters of low-rise building, (2014).
- [3] C. M. Galindo, T. Spuler, G. Moor, and F. Stirnimann, Design, full-scale testing and certification of anti-seismic devices according to the new european norm en 15129: Elastomeric isolators, in Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, (2012).
- [4] M. Nayyerloo, J. Chase, G. MacRae, and X. Chen, Lms-based approach to structural health monitoring of nonlinear hysteretic structures, *Structural Health Monitoring*, 10(4) (2011) 429-444.
- [5] V. Giurgiutiu, Front-matter, in *Structural Health Monitoring with Piezoelectric Wafer Active Sensors (Second Edition)* (V. Giurgiutiu, ed.), pp.i – iii, Oxford: Academic Press, second edition ed., (2014).
- [6] R. J. Allemang, The modal assurance criterion—twenty years of use and abuse, *Sound and Vibration*, 37(8) (2003) 14-23.

Feature Extraction of Dynamic Characteristics from Sample Building by Ambien Vibration Test

نویسنده اول^۱، نویسنده دوم^۲*

۱- مرتبه علمی، دانشکده، دانشگاه، نام شهر، نام کشور، پست الکترونیکی، شماره تلفن/دورنگار

۲- مرتبه علمی، دانشکده، دانشگاه، نام شهر، نام کشور، پست الکترونیکی، شماره تلفن/دورنگار

ABSTRACT

Structural health monitoring is one of the methods used to maintain and increase life expectancy in different years. The method obtained from this method has various uses. In this article, the purpose is to determine the dynamics of the structure, including frequency, mode shape and damping ratio by environmental vibration test on the structure of Imam Hossein Hospital which is on the isolators. Made, is. The data obtained from the environmental vibration test can be used to monitor the health of the structure, construction and troubleshooting. The use of data collected from structures is evolving over time. Environmental vibration tests are performed on the range of many structures, including old buildings, bridges, dams, chimneys and many structures, due to the fact that the input force does not enter the structure and can be used during operation. Becomes. Used to monitor health. How health monitoring is continuous for some types of structures while for others it is done periodically. Records obtained from structures with the help of the acquisition device contain a lot of information about the intrinsic characteristics of the structure that human beings become familiar with its applications over time.

KEYWORDS

Structural Health Monitoring, Ambient Vibration, Modal Analysis, Data Acquisition, Isolated Building