بررسی تحلیلی و تجربی رفتار دینامیکی یک ساختمان بلند بیست و پنج طبقه با سیستم باربر جانبی دیوار برشی

فرهاد دانشجو
استادیار

بخش مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس و مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

چکیده

در این مقاله خصوصیات دینامیکی ساختمان بیست و پنج طبقه وزارت کشاورزی واقع در تهران، بلوار کشاورز، شامل فرکانس های طبیعی و شکل مودهای ارتعاش با استفاده از دو روش تحلیلی و تجربی به دست آمده است. سیستم باربر قائم این ساختمان دال به علاوه دیوار برشی بتنی و سیستم باربر جانبی آن دیوار برشی به علاوه تیرهای کوپله کننده بتنی می باشد. مدل ریاضی این ساختمان با استفاده از برنامه کامپیوتری ETABS، تعریف شده و با انجام آنالیز مقادیر ویژه، خصوصیات دینامیکی مدل ریاضی محاسبه شده است. در روش تجربی، با استفاده از روش آزمایش های ارتعاش محیطی، ارتعاشات خفیف ساختمان بلند وزارت کشاورزی تحت تأثیر عوامل محیطی در دو جهت طولی و عرضی و با نرخ های نمونه برداری مختلف ثبت گردیده و با پردازش این نگاشت ها خصوصیات دینامیکی ساختمان محاسبه شده است. نتایج به دست آمده از هر دو روش تحلیلی و تجربی همسانی مناسبی را نشان می دهد. لذا بکارگیری و استفاده از روش آزمایشات ارتعاش محیطی به عنوان یك روش مناسب و غیر مخرب برای تعیین خصوصیات دینامیکی ساختمان های بلند موجود و نحوه تعریف مدل ریاضی برای این ساختمان تأیید گردیده است. همچنین باتوجه به نتایج تحلیلی و تجربی، میزان مشارکت مودهای مختلف ارتعاش در رفتار دینامیکی کلی ساختمان مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته است.

Analytical and Experimental Dynamic Analysis of a 25-Storey Highrise Building With Shear Walls Lateral Load - Bearing System

F. Daneshjoo
Assistant Professor

Civil Engineering Department of Tarbiat Modaress University

Abstract

In this article the dynamic characteristics of a 25 - storey building of Ministry of Agriculture, located on Keshavarz Blvd, including natural frequencies and vibration mode shapes have been obtained through analytical as well as experimental methods. The vertical load-bearing system of this building is composed of a system of slabs and concrete shear walls while concrete coupling beams together with shear walls form the lateral load - bearing system of the building.

ETABS software has been used to define the mathematical model of this building and the dynamic characteristics of the mathematical model are specified through eigen - value analysis. In the empirical method, the low ambient vi-

brations of the building have been recorded in two longitudinal and transverse directions and with different sampling rates using the ambient vibrations test method. The dynamic characteristics of the building have then been calculated and specified through processing these records. The results obtained through both methods indicate a good correspondence and thus it well proves that the ambient vibration test method is an appropriate and non-desructive method for determination of dynamic characteristics of the existing high rise buildings, and also verifies the method used to define the mathematical model for this high rise building. The contribution of different vibration modes to the general dynamic behavior of the building have also been assessed.

۱ـ مقدمه

بررسی تحلیلی و تجربی رفتار دینامیکی ساختمان های بلند موجود در کشور می تواند به بهبود روش های طراحی سازه ها و تقویت توان علمی و فنی برای کاهش خطرات و هماهنگ کردن آنها در آئین نامه های طراحی ساختمان های کشور منجر گردد. تعیین رفتار ساختمان های واقعی، به وسیله ثبت واقعی پاسخ دینامیکی نمونه هایی از ساختمان های موجود از طریق انجام آزمایش های ارتعاش محیطی و لرزش اجباری صورت می گیرد. براساس داده های به دست آمده از آزمایشات، می توان شناخت دقیق تری از خواص و رفتار دینامیکی ساختمان های بلند موجود به دست آورد. همچنین مقایسه بین نتایج تحلیلی و تجربی می تواند به بهبود مدل های ریاضی و روش های طراحی منجر شود.

روش آزمایشات ارتعاش محیطی یکی از روش های کم هزینه و غیر مخرب برای تعیین خواص دینامیکی ساختمان های بلند است. اولین بار تا کاهاشی و هوسیمی در سال ۱۹۵۴ [۱] پیشنهاد کردند که برای محاسبه زمان تناوب سازه ها از روش خود همبستگی در بسط داده های تجربی که خاصیت نامنظم دارند و از عوامل طبیعی ناشی می شوند، استفاده شود. در سال ۱۹۶۴ کراوفوردو وارد [۲] با آنالیز عکس العمل یک ساختمان ۱۹ طبقه در برابر باد توانستند، خواص دینامیکی سه مود ارتعاش آن را به دست آورند. در سال ۱۹۶۵ کاواسوی و شیما با تبدیل فوریه تابع خود همبستگی خروجی یک سیستم، تابع چگالی طیفی آن را که به تابع انتقال فرکانس سیستم و به چگالی طیفی ورودی آن بستگی دارد، به دست آوردند. آنها نشان دادند که لرزه های خفیف زمین، تصادفی محض بوده و چگالی طیفی آنها به تابع انتقال فرکانس سیستم بستگی دارد، و در فرکانس های طبیعی ماکزیمم می باشد. در سال ۱۹۷۳ بوکمپ و استفن [۳] ارتعاشات محیطی و اجباری ساختمان ۶۰ طبقه ترانس امریکا را که ساختمانی هرمی شکل و فلزی بود، مورد مطالعه قرار دادند. می یاپا و همکاران در سال ۱۹۸۰ [۴] خصوصیات دینامیکی یک ساختمان بلند را حین ساخت اندازه گرفتند و اثر افزون قطعات مختلف به ساختمان را روی فرکانس ها و میرایی بررسی نمودند. در سال ۱۹۸۰ اسپارک و همکارانش [۵] خصوصیات دینامیکی یک مدل ۱/۴ از یک ساختمان ۱۸ طبقه بتنی پیش ساخته را با استفاده از روش ثبت ارتعاشات محیطی مورد بررسی و مطالعه قرار دادند. فرهاد دانشجو در سال ۱۹۹۴ [۶] ارتعاشات تصادفی ساختمان ۲۴ طبقه بانک ملت واقع در تهران را مورد مطالعه و بررسی تحلیلی و تجربی قرار داد. فرهاد دانشجو همچنین در سال ۱۳۷۴ به اتفاق رحیم اسکندری [۷] و علیرضا چیت ساز [۸] در قالب پایان نامه های کارشناسی ارشد با استفاده از روش ارتعاشات محیطی رفتار دینامیکی برج سی و سه طبقه سپهر را مورد مطالعه قرار دادند.

به هر حال تا به امروز از این روش برای تعیین خصوصیات دینامیکی سازه های مختلفی استفاده شده است. انتخاب و نصب حساسه ها، ملاحظات خاص در محل آزمایش و روش تحلیلی، سه گام اصلی روند آزمایشات ارتعاش محیطی را تشکیل می دهند. در انتخاب و نصب حساسه ها باید به نرمی و سختی سازه های مورد آزمایش توجه داشت، به عنوان مثال در سازه های سخت نظیر سدها و یا ساختمان های کوتاه بنایی، فرکانس های طبیعی معمولاً بیش از پنج هرتز بوده در صورتی که در ساختمان های نرم نظیر ساختمان های بلند فرکانس های طبیعی معمولاً کمتر می باشد. این موضوع در انتخاب و نصب حساسه ها برای انجام آزمایش تأثیر بسزایی دارد، زیرا برای هر مورد باید

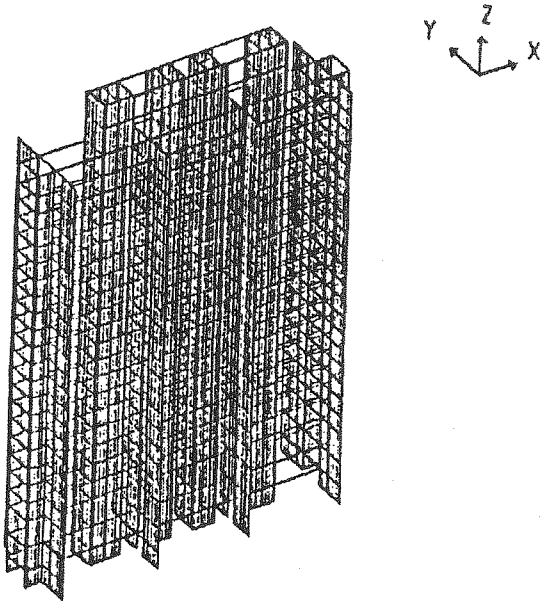
حساسهٔ خاص آن مورد به کار رود. یک سیستم ثبت لرزش محیطی مناسب باید توانایی پوشش محدوده پاسخ سازه در مودهای بالاتر را دارا باشد. تکرار آزمایش با سرعت نمونه گیری مختلف، کنترل عینی اطلاعات در حین انجام آزمایش نیز حائز اهمیت می باشد. محل و جهت نصب حساسه ها باید به گونه ای انتخاب گردد که بهترین تخمین از خواص دینامیکی به دست آید.

حدود فرکانس های مؤثر قبل از اندازه گیری باید از طریق تحلیل مدل ریاضی تخمین زده شود. یک فیلتر پایین گذر در مسیر فرکانس های ورودی قرار داده می شود تا کلیه فرکانس های بیشتر از حدود ارتعاش سازه مورد نظر حذف گردد. این فرکانس حداکثر در محل آزمایش به وسیله یک اسیلوگراف و یا استفاده از یک تحلیلگر طیف زمان حقیقی قابل حمل تعیین می شود.

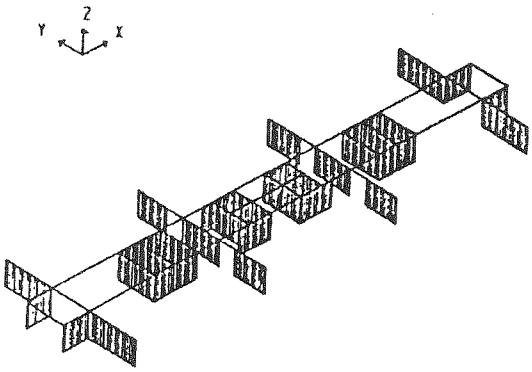
۲ ـ مشخصات کلی ساختمان بلند وزارت کشاورزی و مدل ریاضی آن

ساختمان وزارت کشاورزی در تهران، بلوار کشاورز واقع شده است. این ساختمان دارای بیست و پنج طبقه شامل دو طبقه زیرزمین، یک طبقه همکف، بیست طبقه تیپ و دو طبقه تأسیسات فوقانی می باشد. مساحت کل آن سی هزار متر مربع، وزن تقریبی بر واحد سطح آن هزار و صد کیلوگرم برمتربع، سیستم باربر قائم آن دال به علاوه دیوار برشی بتنی، سیستم باربر جانبی آن دیوار برشی به علاوه تیرهای کوپله کننده بتنی،و سیستم پی آن جعبه ای (صندوقی) به ارتفاع بیش از شش متر، سیستم سقف آن دال به علاوه تیر پیش تنیده با دهانه بیست متر است. اتصالات تیرهای پیش تینده به دیوارهای برشی به صورت مفصلی طراحی شده است و بقیه اتصالات صلب می باشد.

با استفاده از نقشه های معماری وسازه ای و بکارگیری نرم افزار ETABS یک مدل ریاضی سه بعدی برای تحلیل دینامیکی ساختمان بیست و پنج طبقه وزارت کشاورزی تعریف شده است. شکل ۱ دید ایزومتریک از نمای کلی مدل ریاضی سه بعدی این ساختمان را نشان می دهد. شکل ۲ نحوه مدل سازی دیوارهای برشی یکی از طبقات تیپ را به صورت سه بعدی نشان می دهد. این طبقات فاقد ستون بوده و به صورت سیستم دیوار برشی خالص اجرا شده اند. همانطوری که در شکل ملاحظه می گردد، ارتفاع المان ها برابر ارتفاع طبقات اختیار شده است و عرض آنها متغیر می باشد.



شکل (۱) دیدایزومتریک از نمای کلی مدل سه بعدی



شکل (۲) نحوه مدل سازی دیوارهای برشی

برنامه ETABS توانایی تحلیل استاتیکی و دینامیکی سازه ها در محدوده رفتار الاستیک را دارد و در تحلیل رفتار دیوار برشی بسیار مناسب تشخیص داده شده است. برنامه ETABS دارای چهار نوع المان تیر، ستون، دیوار و بادبند است. مدل ریاضی تعریف شده دارای کف های یکپارچه و جرم های متمرکز در طبقات است. در فایل ورودی مدل ریاضی ساختمان تنها مقادیر وزن بر واحد سطح طبقات و هندسه طبقات وارد شده اند و مقادیر جرم انتقالی و دورانی طبقات توسط برنامه محاسبه می شود.

۳ـ تحلیل دینامیکی مدل ریاضی

نتایج تحلیل دینامیکی برنامه ETABS در حالت کلی شامل پریود و فرکانس های طبیعی مودهای ارتعاش سه بعدی، ضرایب تأثیر مودی، ضرایب جهت مودی، ضرایب تأثیر جرم ها و مودهای نرمال شده ارتعاش می باشد.

ضرایب تأثیر مودی باتوجه به جهت های تعریف شده تغییر مکانی x و y و θ_z (درجات آزادی هر طبقه) با روابط (۱) تعریف می شوند:

$$PF_X = \Sigma M \phi_X,\ PF_y = \Sigma M \phi_y,\ PF_{\theta z} = \Sigma M_\theta \phi \theta_z \quad (۱)$$

در روابط فوق M جرم انتقالی طبقه، M_θ جرم دورانی طبقه و ϕ_y ,ϕ_x و $\phi_{\theta z}$ به ترتیب مؤلفه های شکل مودها در جهات x , y و θ_z می باشند. کلیه حاصل جمع ها در طبقات ساختمان صورت می گیرد.

ضرایب جهت مودی، درصد تغییر مکان مربوط به جهت مشخصی را در هر شکل مود نشان می دهد و طبق روابط (۲) تعریف می گردند.

$$\%x = \Sigma M \phi^2_x \times 100$$

$$\%y = \Sigma M \phi^2_y \times 100$$

$$\%\theta_z = \Sigma M \theta\phi^2_{\theta z} \times 100 \quad (۲)$$

جمع ضرایب %x ,%y و $\%\theta_z$ در هر مود ارتعاش برابر ۱۰۰ خواهد بود.

ضرایب تأثیر جرم ها نشان دهنده درصد جرمی است که توسط هر یک از شکل مودها درجهت مربوطه مرتعش می شوند و با روابط (۳) تعریف می گردند.

$$EM_x = [(PF_x)^2 / \Sigma M] \times 100$$

$$EM_y = [(PF_y)^2 / \Sigma M] \times 100$$

$$EM_{\theta z} = [(PF_{\theta z})^2 / \Sigma M_\theta] \times 100 \quad (۳)$$

پس از تهیه مدل ریاضی این ساختمان، با انجام آنالیز مقادیر ویژه خصوصیات دینامیکی آن محاسبه گردید [۹] . جدول ۱ پریودها و فرکانس های طبیعی و جدول های ۲، ۳ و ۴ به ترتیب ضرایب تأثیر مودی، ضرایب جهت مودی و ضرایب تأثیر جرم ها برای ۸ مود اول ارتعاش را نشان می دهد.

شکل ۳ و ۴، اولین مودهای ارتعاش که در جهت های عرضی و طولی اتفاق می افتد و شکل ۵ سومین مود ارتعاش ساختمان که اولین مود پیچشی نیز می باشد را نشان می دهد.

جدول (۱) پریودها و فرکانس های طبیعی ساختمان وزارت کشاورزی

شماره مود	فرکانس زاویه ای طبیعی	فرکانس طبیعی	پریود طبیعی
۱	۴/۴۲۴۹۲	۰/۷۰۴۲۵	۱/۴۱۹۹۵
۲	۴/۴۵۳۱۱	۰/۷۰۸۷۳	۱/۴۱۰۹۷
۳	۴/۹۹۶۸۰	۰/۷۹۵۲۷	۱/۲۵۷۴۴
۴	۱۴/۶۹۰۶۷	۲/۳۳۸۰۹	۰/۴۲۷۷۰
۵	۱۸/۰۹۴۶۳	۲/۸۷۹۸۵	۰/۳۴۷۲۴
۶	۱۸/۹۸۲۹۰	۳/۰۲۱۲۲	۰/۳۳۰۹۹
۷	۲۸/۷۴۰۷۰	۴/۵۷۴۲۲	۰/۲۱۸۶۲
۸	۳۸/۲۲۵۵۱	۶/۰۸۳۷۸	۰/۱۶۴۳۷

جدول (۲) ضرایب تأثیر مودی

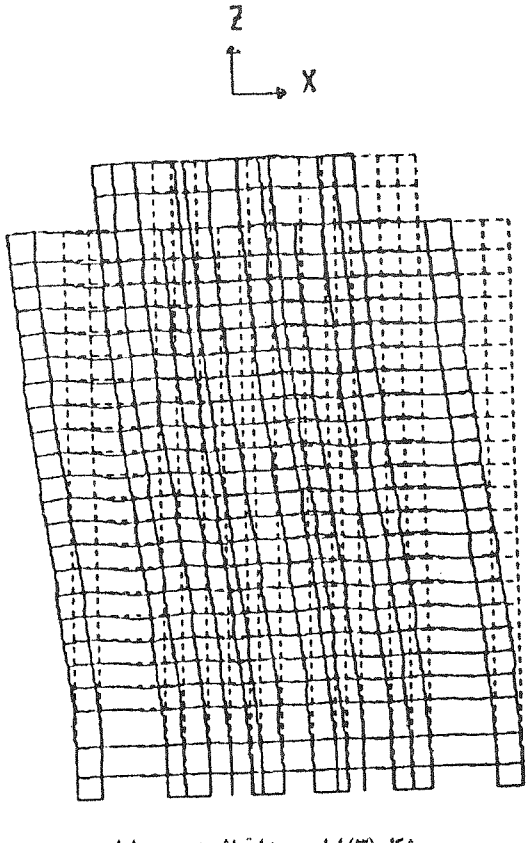
شماره مود	جهت پیچشی	جهت عرضی y	جهت طولی n
۱	۲۶۹۲/۶۸۴۸۶	۴۵۵۱/۸۴۳۰۶	-۱۲۲/۰۲۱۱۲
۲	۲۳۵/۸۷۴۳۲	-۱۱۵/۵۹۸۳۷	-۴۸۳۹/۵۴۲۱۲
۳	۸۸۶۹۸/۳۷۵۳۰	-۱۳۳/۴۱۲۶۱	۱۲/۸۷۹۰۶
۴	-۱۵۳/۷۲۴۹۸	-۱/۶۵۱۶۹	-۲۱۸۰/۴۴۳۷۷
۵	-۴۳۴۷۰/۶۱۱۵۸	-۱۶۲/۶۶۰۵۶	۳/۸۳۸۱۱
۶	۲۸۰۰/۰۳۵۰۲	-۲۵۳۵/۱۷۲۲۲	۲/۵۶۰۵۸
۷	۱۶۶/۶۲۹۸۶	۲/۳۹۸۵۷	۱۳۷۸/۷۳۱۴۱
۸	۲۶۸۰۱/۰۸۸۰۶	۲۹/۷۰۸۸۳	-۸/۳۵۷۴۹

جدول (۳) ضرایب جهت مودی

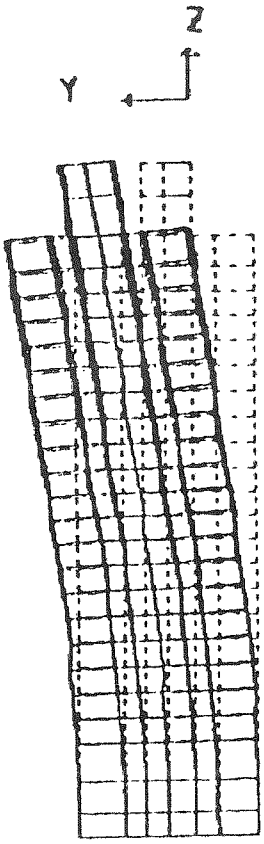
شماره مود	جهت پیچشی	جهت عرضی y	جهت طولی n
۱	۰/۰۹۰۳۹	۹۹/۸۴۵۸۸	۰/۰۶۳۷۳
۲	۰/۰۰۰۶۲	۰/۰۶۴۱۶	۹۹/۹۳۵۲۳
۳	۹۹/۹۰۸۶۶	۰/۰۹۰۰۹	۰/۰۰۱۲۶
۴	۰/۰۰۰۳۴	۰/۰۰۰۰۳	۹۹/۹۹۹۶۳
۵	۹۹/۵۹۴۲۵	۰/۴۰۴۳۴	۰/۰۰۱۴۱
۶	۰/۴۰۴۶۳	۹۹/۵۹۵۲۴	۰/۰۰۰۱۳
۷	۰/۰۰۱۹۰	۰/۰۰۰۳۰	۹۹/۹۹۷۸۱
۸	۹۹/۹۳۷۵۰	۰/۰۵۳۸۵	۰/۰۰۸۶۴

جدول (۴) ضرایب تأثیر جرم‌ها

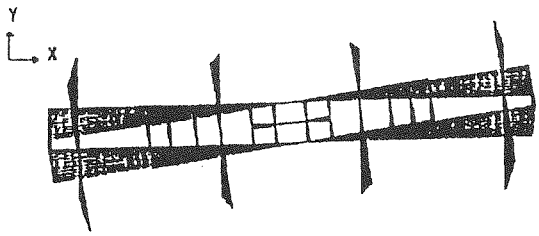
شماره مود	جهت پیچشی < جمع - % > جرم - %		جهت عرضی y < جمع - % > جرم - %		جهت طولی X < جمع - % > جرم - %	
۱	‹۰/۱›	۰/۰۶	‹۶۱/۱›	۶۱/۰۹	<. ۰>	۰/۰۴
۲	‹۰/۱›	۰/۰۰	‹۶۱/۱›	۰/۰۴	‹۶۹/۱›	۶۹/۰۶
۳	‹۶۴/۶›	۶۴/۵۱	‹۶۱/۲›	۰/۰۵	‹۶۹/۱›	۰/۰۰
۴	‹۶۴/۶›	۰/۰۰	‹۶۱/۲›	۰/۰۰	‹۸۳/۱›	۱۴/۰۲
۵	‹۸۰/۱›	۱۵/۴۹	‹۶۱/۳›	۰/۰۸	‹۸۳/۱›	۰/۰۰
۶	‹۸۰/۱›	۰/۰۶	‹۸۰/۲›	۱۸/۹۵	‹۸۳/۱›	۰/۰۰
۷	‹۸۰/۱›	۰/۰۰	‹۸۰/۲›	۰/۰۰	‹۸۸/۷›	۵/۶۰
۸	‹۸۶/۰›	۵/۸۹	‹۸۰/۲›	۰/۰۰	‹۸۸/۷›	۰/۰۰



شکل (۳) اولین مود ارتعاش در جهت طولی



شکل (۴) اولین مود ارتعاش در جهت عرضی



شکل (۵) اولین مود پیچشی

٤ ـ آزمایش‌های ارتعاش محیطی

عوامل محیطی همچون لرزه‌های خفیف زمین، وزش باد، ترافیک وسایل نقلیه باعث ارتعاشات خفیف ساختمان در مودهای مختلف می‌شود. ارتعاشات ناشی از عوامل محیطی طبیعتی تصادفی دارند و گستره نسبتاً وسیعی از فرکانس‌ها را می‌پوشانند. سازه فرکانس‌های نزدیک به فرکانس‌های طبیعی خود را تقویت نموده و فرکانس‌های دیگر را تضعیف می‌کند و در حقیقت به صورت یک فیلتر عمل می‌کند. با تحلیل فوریه عکس‌العمل سازه در برابر عوامل محیطی می‌توان فرکانس‌های غالب که همان فرکانس‌های طبیعی سازه است را به دست آورد. بدین ترتیب با اندازه‌گیری ارتعاشات سازه تحت تأثیر عوامل محیطی و محاسبه تابع چگالی طیفی آن می‌توان فرکانس‌های طبیعی، شکل مودهای ارتعاش و میرایی مودهای مختلف را محاسبه نمود.

در انجام آزمایش‌های ارتعاش محیطی، از یک عدد دستگاه SSR-1 که قادر به ثبت شش رکورد به طور همزمان از طریق شش کانال با نرخ نمونه برداری مختلف و حساسه‌های سرعت سنج SS-1 و یک کامپیوتر قابل حمل 80486-DX-2 استفاده شده است. حساسه SS-1 سرعت ارتعاش محل نصب خود را در راستای محور طولی خود ثبت نموده و به دستگاه SSR-1 می‌فرستد. این سرعت سنج دارای حساسیت بالا، قابلیت رکوردگیری قائم وافقی و مقاوم در برابر نفوذ آب می‌باشد. حساسه SS-1 شامل یک جرم با خاصیت آهن ربایی است که به دو فنر خمشی وصل شده و یک سیستم دینامیکی یک درجه آزادی را تشکیل می‌دهد.

در آغاز حساسه‌ها در یک طبقه و در یک راستا و دنبال هم قرار گرفته و کالیبره گردیدند. سپس باتوجه به نتایج تحلیل دینامیکی مدل ریاضی ساختمان محل و جهت نصب حساسه‌ها به گونه‌ای انتخاب گردیدند که بهترین تخمین از خواص دینامیکی به دست آید. به منظور افزایش دقت، آزمایش‌های با چهار نرخ نمونه‌گیری مختلف ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ نمونه در ثانیه (SPS) تکرار گردید.

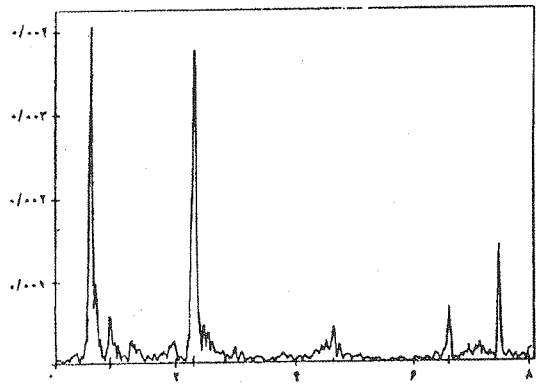
برای پردازش اطلاعات با استفاده از روش تبدیل سریع فوریه، طول مدت زمان نمونه برداری بسیار حائز اهمیت بوده و از رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$T = \frac{2^R}{SPS} \qquad (۴)$$

در رابطه ۴، R درجه تبدیل فوریه سریع و SPS نرخ نمونه برداری اطلاعات در ثانیه می باشد. در عمل برای هر یک از آزمایش‌ها زمانی بیشتر از زمان مورد نیاز، اطلاعات برداری صورت گرفت. برای انجام هر آزمایش با استفاده از زمان شروع و پایان، سرعت نمونه برداری و دامنه ارتعاش مشخص گردید. پس از انجام هر آزمایش اطلاعات ثبت شده در حافظه دستگاه SSR-1 به کامپیوتر قابل حمل منتقل و در فایلی مشخص حفظ گردید.

از آنجایی که سرعت سنجش SS-1 در راستای محور طولی خود دارای سیستم ارتعاش داخلی می‌باشد، به منظور اندازه‌گیری و ثبت ارتعاش افقی ساختمان حساسه به صورت افقی و در جهت طولی و عرضی ساختمان نصب گردید.

داده‌های ثبت شده برای هر حساسه به صورت جداگانه پردازش گردید [۱۰]. شکل ۶ نمونه‌ای از توابع چگالی طیفی را برای یکی از نگاشت‌ها نشان می‌دهد. در توابع چگالی طیفی محور افقی فرکانس و محور قائم دامنه می‌باشد. نقاط با حداکثر دامنه نشان‌دهنده فرکانس‌های طبیعی این ساختمان است. جدول ۵ فرکانس‌های طبیعی ساختمان و جهت ارتعاش را برای چند مورد ارتعاش نشان می‌دهد.



شکل (۶) نمونه‌ای از توابع چگالی طیفی

جدول (۵) فرکانس های طبیعی و جهت های ارتعاش و ثبت

مود و جهت ارتعاش	فرکانس طبیعی	جهت ثبت و ارتعاش
اول، شمالی جنوبی (x)	0.63	x
دوم، شمالی جنوبی (x)	2.34	x
سوم، شمالی جنوبی (x)	4.63	x
اول، شرقی، غربی (y)	0.3	y
دوم، شرقی ـ غربی (y)	2.62	y
اول، پیچشی (θ_z)	0.80	x.y
اول، پیچشی (θ_z)	2.55	y

برای مودهای پیچشی، زاویه دوران کف ها از اختلاف مقادیر حاصل از دو حساسه که جهت اندازه گیری آنها موازی بوده و در فاصله مشخصی در یک نقطه نصب شدند، تعیین گردیده است. فرض صلب بودن طبقات در مدل ریاضی قطعاً می تواند با واقعیات تطبیق صد در صدی نداشته باشد. بنابراین به منظور بالا بردن میزان صحت نتایج، محل نصب حساسه ها تا آنجایی که ممکن بوده است، نزدیک مرکز جرم طبقات در نظر گرفته شده است.

۵ـ نتیجه گیری

مدل ریاضی ساختمان بیست و پنج طبقه وزارت کشاورزی با استفاده از برنامه ETABS تعریف گردید. سپس با انجام آنالیز مقادیر ویژه، پریودها و فرکانس های طبیعی و همچنین میزان تأثیر هر مود ارتعاش در رفتار دینامیکی ساختمان محاسبه شد و شکل مودهای ارتعاش مشخص گردید. با استفاده از روش آزمایش های ارتعاش محیطی، ارتعاشات خفیف این ساختمان تحت تأثیر عوامل محیطی در دو جهت طولی و عرضی ساختمان و با نرخ های نمونه برداری مختلف ثبت گردید و با پردازش این نگاشت ها فرکانس های طبیعی ساختمان و شکل مودهای ارتعاش به صورت تجربی تعیین شد. در مقایسه نتایج تحلیل مدل ریاضی و روش تجربی آزمایش های ارتعاش محیطی توجه به فرضیه های اولیه حائز اهمیت می باشد. در روش تحلیلی فرض شده است که اتصال سازه ها به زمین صلب می باشد و هیچ گونه اندرکنشی بین سازه و خاک در نظر گرفته نشده است، در حالی که در عمل سازه با خاک زیرین خود دارای اندرکنش می باشد. پس تفاوت فرکانس های به دست آمده از دو روش تئوری و تجربی در این مطالعات قابل قبول می باشد.

جدول ۴ نشان دهنده درصد جرمی است که توسط هر یک از شکل مودها در جهات طولی و عرضی ساختمان و جهت پیچشی مرتعش می شوند. باتوجه به مقادیر ضرایب تأثیر جرم مشخص گردید، شش مود اول الی ششم ارتعاش ساختمان وزارت کشاورزی بیش از هشتاد درصد رفتار دینامیکی کل این ساختمان در جهات شرق ـ غربی (y)، شمالی ـ جنوبی (x) و پیچشی (θ_z) را بیان می نماید. نتایج تحلیلی و تجربی نشان می دهند، مود اول و ششم در جهت شمالی ـ جنوبی و مودهای دوم و چهارم در جهت شرقی ـ غربی و مودهای سوم و پنجم در جهت پیچشی رخ می دهد. مقایسه نتایج به دست امده از آزمایش های ارتعاش محیطی و نتایج تئوری، ضمن تأیید مدل ریاضی نشان می دهد، روش آزمایش های ارتعاش محیطی یک روش مناسب و غیر مخرب برای تعیین خواص دینامیکی ساختمان های بلند می باشد. تأثیر اندرکنش بر واکنش سازه تحت تأثیر زلزله ممکن است در مقایسه با واکنش سازه واقع بر تکیه گاه صلب بسته به خصوصیات سازه و خاک به صورت تقلیل دهنده و یا تقویت کننده باشد. پس لازم است اندرکنش خاک و سازه در بررسی واکنش مدل ریاضی سازه در برابر زلزله حتماً مدل گردد. نتایج حاصل از این مطالعه و تحقیق با نتایج مطالعات و تحقیقات دیگر محققین در گذشته کاملاً تطبیق دارد.

مراجع

[1] Takahasi, K., and Husimi, K., "Method to determine Frequency and Attenuation Constant from the Irregular Motion of an Oscillating Body", J. Inst. Phy. and Chem. Res. Japan. Vol. 14, No. 4, 1954.

[2] Crawford, R., and Ward, H.S., "Determination of Natural Periods of Buildings", Bull. of the Seis. Soc of Am., Vol. 54, No. 6, PP. 1745-1756, 1964.

[3] Bouwkamp, J. G., and Stephen, R.M., "Ambient

and Force Vibration Studies of a Multisotrey Pyramid - Shaped Building", Proc. of the 5th World Cont. on E.Q. Eng., Rome, 1973.

[4] Meyyapa, M., Palsson, H. and Carig, J.I., "Modal Parameter Estimation for a Highrise Builidng using Ambient Response Data Taken During Construction", Proc. of 2nd Specially Conf., ASCE, NewYork, 1980.

[5] Sparks, P. R., Jeary, A.P. and Desouza, V.C.M., "A Study of the Use of Ambient Vibration Measurements to Detect Changes in the Structural Characteristics of a Building", Proc. of the 2nd Specially Conf., ASCE, New York, 1980.

[6] Daneshjoo, F., and Azar, N.R., "Seismic Behaviour of Tall Buildings", Proc. of 10th European Conf. on E.Q. Eng., Vienna, Austria, August 1994.

[۷] اسکندری، رحیم.، « بررسی خواص دینامیکی یک ساختمان بلند (برج سپهر)»، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس و مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تابستان ۱۳۷۴.