



مطالعه خصوصیات دینامیکی خانه های خشتی گلی روستایی ایران با روش اندازه گیری ارتعاش محیطی

م. لطفعلی پور^۱، آ. دهقان بنادکی^۲، ع. بخشی^۳، م.ع. قناد^۴

خلاصه

در ایران درصد بالایی از جمعیت در خانه‌هایی زندگی می‌کنند که خاک ماده اصلی تشکیل‌دهنده ساختمان آنها می‌باشد. سازه‌های خشتی تقریباً در تمام روستاهای ایران یافت می‌شوند. زیرا در اغلب این سازه‌ها، تنها از مصالح ارزان‌قیمت که در محل موجود هستند استفاده می‌شود. این نوع از سازه‌ها عموماً در یک یا حداکثر دو طبقه و تنها برای سکونت یک خانواده ساخته می‌شوند. در این مقاله آزمایش موسوم به ارتعاش محیطی روی چند نمونه متداول از ساختمانهای خشتی - گلی روستائی، به منظور استنتاج خواص دینامیکی سازه و استفاده از این نتایج جهت مقایسه و تحلیل مدلسازی کامپیوتری صورت گرفته است. انجام آزمایشات لرزه ای بر روی سازه ها، یکی از مطمئن ترین راهها برای تعیین خواص دینامیکی آنها می باشد. فرکانسهای طبیعی و ضرایب میرایی مربوط به هر مود با این روش با دقت قابل قبول اندازه گیری شده است. ارتعاشاتی که عوامل طبیعی همچون لرزه های بسیار خفیف زمین، باد، ترافیک و حرکت مردم مسبب آن می باشند، باعث می شوند که سازه در مودهای مختلف به ارتعاش در آید. با اندازه گیری عکس العمل سازه در برابر این ارتعاشات با لرزه سنج های بسیار حساس و تحلیل آنها، خواص دینامیکی سازه بدون این که نیاز به لرزاننده های بزرگ و قوی باشد بدست می آید.

کلمات کلیدی: خانه های خشتی - گلی، ارتعاش محیطی، فرکانسهای طبیعی، ضرایب میرایی

مقدمه

عوامل محیطی فرآیندهای تصادفی هستند که آنها را تحت شرایط خاصی می توان مانا، ارگودیک و تصادفی محض به حساب آورد که در این صورت تابع چگالی طیفی آنها ثابت می باشد. با چنین فرضی، ارتعاشات سازه که در اثر این عوامل پدید می آید نیز یک فرآیند تصادفی بوده که تابع چگالی طیفی آن در نقاط فرکانس های طبیعی سازه ماکزیمم می باشد. بدین جهت با اندازه گیری ارتعاشات سازه ناشی از عوامل محیطی و محاسبه تابع چگالی طیفی آن، می توان فرکانسهای طبیعی سازه را استخراج نمود. ضمناً با استفاده از منحنی های تابع چگالی طیفی این ارتعاشات، میزان میرایی سازه نیز قابل محاسبه است. سیستم میان تمام فرکانسهایی که به آن می رسد، دامنه تابع چگالی طیفی عکس العمل فرکانس هایی که نزدیک به فرکانس طبیعی سیستم است را افزایش داده و دامنه بقیه فرکانس ها را کم می کند. بدین ترتیب تابع چگالی طیفی عکس العمل در نقاط فرکانس طبیعی سیستم دارای ماکزیمم خواهد بود و فرکانسهای طبیعی سیستم را می توان از این طریق محاسبه نمود. در سال ۱۹۶۴ Crawford و Ward [۱] با آنالیز عکس العمل یک ساختمان ۱۹ طبقه در برابر باد توانستند خواص دینامیکی سه مود ارتعاشی آن را بدست آورند. آنها پس از ضبط رکوردهای ارتعاشی که توسط تعدادی لرزه سنج بدست آمده بود و محاسبه دامنه فوری آنها، تابع چگالی طیفی را بدست آوردند. در اصل این اولین باری بود که از طریق تابع چگالی طیفی، خصوصیات دینامیکی سازه ای بدست می آمد و از آن پس با استفاده عملی و وسیع از روش مطالعه ارتعاشات محیطی، خصوصیات دینامیکی سازه ها با آنالیز فوریه بدست آمد. در سال

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، lotfalipour@civil.sharif.edu

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، dehghan@civil.sharif.edu

۳- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، bakhshi@sharif.edu

۴- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ghannad@sharif.edu



۱۹۷۱ Hart [۲] و همکاران وی بر اساس روش ارائه شده توسط Crawford و Ward [۱] خصوصیات دینامیکی دو پل معلق نیوپرت و ویلیام پرستون در آمریکا را بدست آوردند. در کشورمان ایران در سالهای اخیر آزمایشات ارتعاش محیطی بر روی سازه های مختلفی انجام شده است. از آن جمله آزمایش ارتعاش محیطی بر روی برج سپهر، دانشکده عمران دانشگاه شریف [۳]، سد خاکی مارون و چند ساختمان بلند مرتبه دیگر را می توان نام برد. پس از زلزله بم (۲۶ دسامبر ۲۰۰۳) با همکاری عده ای از ایرانیان مقیم آمریکا، انجمنی جهت ارائه راه حل هایی برای کاهش تلفات زلزله در ایران به نام Earthquake Engineering Educational Institute یا به اختصار 3ei شکل گرفت. با توجه به اینکه اکثر تلفات زلزله در کشورهای جهان سوم در ساختمانهای خشتی و گلی رخ می دهد، هدف اصلی این انجمن ارائه راه کارهایی برای مقاوم سازی ساختمانهای روستایی در برابر زلزله تعیین گردید، که این مرحله با همکاری نزدیک اساتید و دانشجویان دانشگاه صنعتی شریف و دانشگاه برکلی کالیفرنیا انجام می پذیرد. حاصل تحقیقات در فاز اول این پروژه (جمع آوری اطلاعات خانه های روستائی ایران) در مقالات متعددی ارائه شده است [۴][۵][۶][۷][۸]. تحقیقات ارائه شده در این مقاله نیز در جهت تکمیل اهداف این پروژه صورت گرفته است. در این راستا ۵ نمونه ساختمان خشتی با سقف مسطح چوبی با ابعاد و خصوصیات هندسی متفاوت مورد آزمایش قرار گرفته اند که نتایج حاصله در ذیل آورده شده است.

شرح ساختمانهای انتخاب شده برای آزمایش

ساختمانهای انتخاب شده در استانهای خراسان جنوبی و آذربایجان شرقی که از مناطق با خواص لرزه خیزی بسیار زیاد هستند واقع شده اند. مشخصات ساختمانها در ذیل و در جدول (۱) آمده است.



شکل (۱): ساختمان شماره ۱

ساختمان شماره ۱

این ساختمان در روستای آقاجان در استان آذربایجان شرقی قرار دارد. کاربری آن به عنوان اتاقک سر چاه تنور بوده و دارای ۵،۱۰ متر طول و ۴،۷۰ متر عرض می باشد. از دو سمت نیز به دیوار متصل است. شکل (۱)



شکل (۲): ساختمان شماره ۲

ساختمان شماره ۲

این ساختمان در روستای اشتلق اولیا در استان آذربایجان شرقی قرار دارد. از آن به عنوان انبار استفاده می شود. دارای ۶،۸ متر طول و ۶،۷ متر عرض می باشد. از دو سمت نیز به دیوار متصل است. شکل (۲)



شکل (۳): ساختمان شماره ۳

ساختمان شماره ۳
این ساختمان در روستای مهماندار استان آذربایجان شرقی قرار گرفته است. کاربری ساختمان مسکونی بوده و دارای ۴ اتاق مسکونی و یک اتاق به عنوان آشپزخانه می باشد. طول ساختمان ۱۹,۷ متر و عرض آن ۳,۳۰ متر می باشد. از دو سمت نیز به دیوار حیاط متصل است.
شکل (۳)



شکل (۴): ساختمان شماره ۴

ساختمان شماره ۴
این ساختمان در روستای اوجان استان خراسان جنوبی واقع شده است. کاربری آن مسکونی بوده که دارای دو اتاق و یک راهرو می باشد. این ساختمان در دامنه کوه قرار گرفته و دارای ۱۳ متر طول و ۴,۱۰ متر عرض می باشد. شکل (۴)



شکل (۵): ساختمان شماره ۵

ساختمان شماره ۵
این ساختمان نیز در روستای اوجان استان خراسان جنوبی قرار دارد. کاربری آن مسکونی بوده و دارای دو اتاق می باشد. ابعاد آن شامل ۱۰,۱۰ متر طول و ۵,۱۰ متر عرض می باشد. از دو سمت نیز به دیوار متصل است. شکل (۵)



جدول (۱): مشخصات ساختمانها

شماره ساختمان	طول	عرض	ارتفاع	ضخامت دیوارها	ضخامت سقف	قطر تیرها	فاصله بین تیرها	درصد بازشوها
۱	۵,۱۰*	۴,۷۰	۲,۹۰	۰,۵۰	۰,۳۰	۰,۲۰	۰,۵۰	۸
۲	۶,۸۰	۶,۷۰	۴,۴۰	۰,۴۰	۰,۳۰	۰,۱۰	۰,۳۰	۷,۵
۳	۱۹,۷۰	۳,۳۰	۳,۲۰	۰,۴۰	۰,۳۰	۰,۱۸	۰,۵۰	۲۴
۴	۱۳,۰۰	۴,۱۰	۳,۴۵	۰,۶۰	۰,۳۵	۰,۱۴	۰,۶۰	۱۶
۵	۱۰,۱۰	۵,۱۰	۳,۳۰	۰,۶۵	۰,۳۵	۰,۱۷	۰,۷۰	۱۸

*واحد ابعاد متر می باشد.

آزمایش ارتعاش محیطی

روش آزمایش ارتعاش محیطی بر اساس ثبت ارتعاشات سازه که ناشی از عوامل محیطی است استوار می باشد. برای این کار احتیاج به لرزه سنج های بسیار حساس و دستگاههای ثبت کننده می باشد. در این آزمایشها از لرزه سنجهای SS-1 و دستگاه ثبات SSR-1 استفاده شده است. برای انجام آزمایش لرزه سنجهای در موقعیتهای مناسب قرار گرفته و به وسیله کابل به ثبات SSR-1 متصل می شوند. دستگاه ثبات نیز از کامپیوتر فرمان می گیرد. بدین ترتیب در زمانیکه توسط کامپیوتر مشخص می گردد دستگاه شروع به اندازه گیری و ثبت ارتعاش می کند و پس از اتمام مدت تعیین شده، رکوردگیری متوقف می شود. نحوه اتصال حسگرها، دستگاه ثبات و کامپیوتر به یکدیگر در اشکال (۶) و (۷) نشان داده شده است.



شکل (۷): اتصال سنسورها به دستگاه ثبات



شکل (۶): اتصال دستگاه ثبات به کامپیوتر

مراحل انجام آزمایش

در ابتدا لرزه سنجهای را در کنار هم قرار داده و رکوردگیری انجام می شود. این مرحله کالیبراسیون نام دارد. در این مرحله در صورتیکه یکی از سنسورها درست رکوردگیری نکنند مشخص میگردد. برای تعیین پریودهای طبیعی ساختمان لرزه سنجهای باید در هر دو امتداد ساختمان قرار گیرند. همچنین جهت بدست آوردن مودهای پیچشی ساختمان لرزه سنجهای را در دو انتهای ساختمان قرار داده و رکوردگیری انجام می شود. در آخرین مرحله نیز یکی از سنسورها را روی زمین قرار می دهیم تا همزمان ارتعاشات ورودی و پاسخ ساختمان را اندازه گیری کنیم. بدین ترتیب بطور متوسط بر روی هر ساختمان ۶ تست انجام می پذیرد. برای از بین بردن ارتعاشات ناخواسته (نویزها) بر روی دستگاه ثبات، برد سخت افزاری نصب شده است که به عنوان فیلتر عمل می کند و فرکانسهایی را که خارج از محدوده مورد نیاز هستند حذف می کند.



پردازش داده ها

ارتعاشات محیطی ساختمان بر اثر عوامل تصادفی بوجود می آیند. لذا برای تحلیل عکس العمل ساختمان در برابر این عوامل از تئوری ارتعاشات تصادفی و تحلیل طیفی استفاده می شود. برای بدست آوردن محتوای فرکانسی یک سیگنال تصادفی از تحلیل فوریه استفاده می شود. بدین ترتیب با گرفتن تبدیل فوریه از سیگنال مورد نظر، سیگنال از حوزه زمان به حوزه فرکانس انتقال داده می شود و بر اساس آن می توان فرکانسهای غالب در سیگنال را محاسبه کرد. [۹]

$$X(f, T) = \int_0^T x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (1)$$

$$Y(f, T) = \int_0^T y(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (2)$$

$$S_{xx}(f) = \frac{1}{n_d T} \sum_{k=1}^{n_d} X_k^*(f, T) X_k(f, T) \quad (3)$$

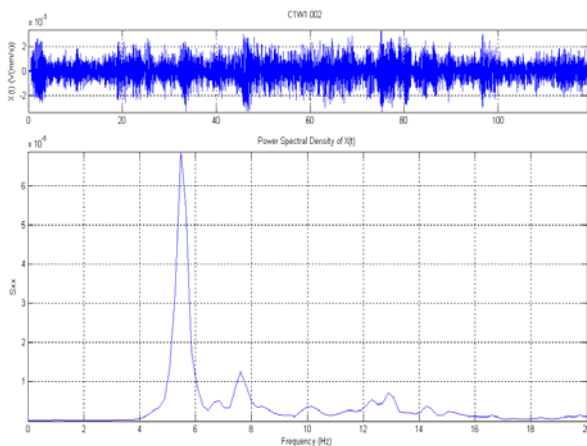
$$S_{xy}(f) = \frac{1}{n_d T} \sum_{k=1}^{n_d} X_k^*(f, T) Y_k(f, T) \quad (4)$$

$x(t)$ و $y(t)$ سیگنال رکوردهای ضبط شده توسط دستگاه هستند. $X(f, T)$ و $Y(f, T)$ تبدیل فوریه سیگنالها می باشند. $S_{xx}(f)$ تابع چگالی طیفی سیگنال x و $S_{xy}(f)$ تابع چگالی طیفی سیگنال x و y می باشد. همچنین n_d تعداد نمونه گیری دستگاه در هر ثانیه می باشد. برای محاسبه درصد میرایی از روش نیم توان استفاده می شود. بدین صورت که پهنای منحنی چگالی طیفی در $\frac{\sqrt{2}}{2}$ ارتفاع منحنی (دامنه) در فرکانس طبیعی سازه اندازه گیری شده و درصد میرایی از رابطه ذیل محاسبه میگردد [۳]:

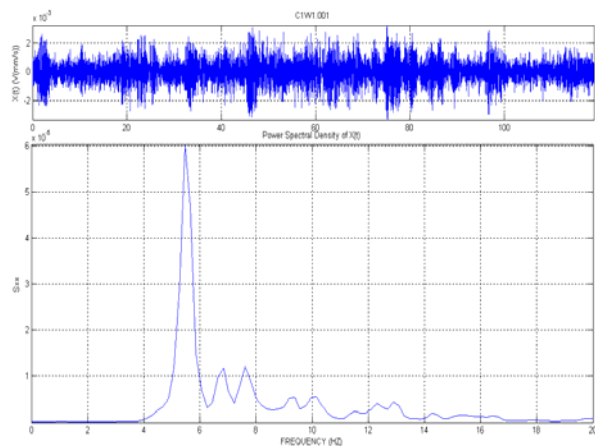
$$\zeta = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2\omega_n} \quad (5)$$

ω_n فرکانس طبیعی سازه و ω_1 و ω_2 فرکانسهای نظیر $\frac{\sqrt{2}}{2}$ دامنه تابع چگالی طیفی در فرکانس طبیعی سازه می باشند.

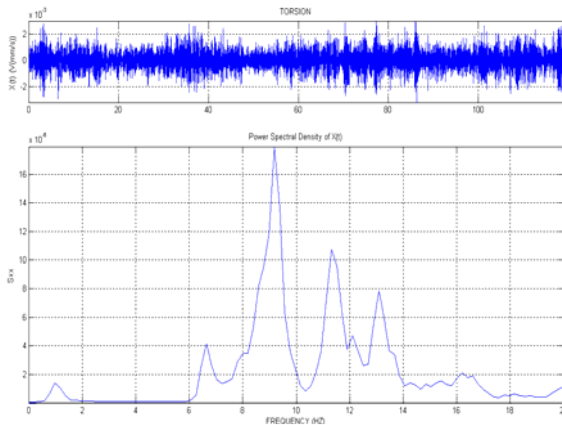
تعدادی از رکوردهای ضبط شده توسط دستگاه و توابع چگالی طیفی حاصل از آن در زیر مشاهده می شود:



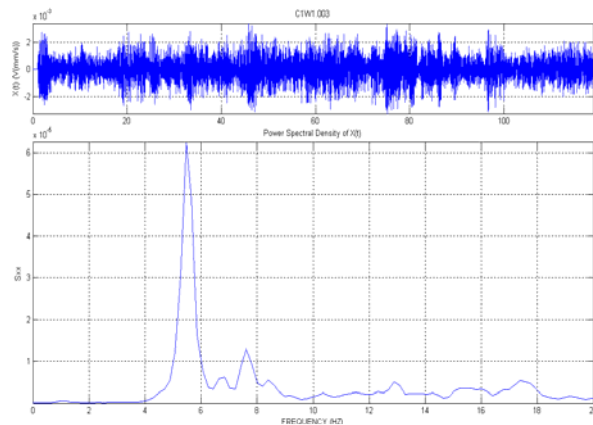
شکل (۹): رکورد ضبط شده به همراه تابع چگالی طیفی سنسور شماره ۲ در آزمایش CIW1



شکل (۸): رکورد ضبط شده به همراه تابع چگالی طیفی سنسور شماره ۱ در آزمایش CIW1



شکل (۱۱): رکورد حاصل تفاضل سنسورهای شماره ۱ و ۳ به همراه تابع چگالی طیفی جهت محاسبه مود پیچشی آزمایش CIW1



شکل (۱۰): رکورد ضبط شده به همراه تابع چگالی طیفی سنسور شماره ۳ در آزمایش CIW1

با پردازش رکوردهای ضبط شده، فرکانس و پرپودهای طبیعی ساختمان و همچنین درصد میرایی سازه ها بدست می آید که شرح آن در جدول (۲) آمده است.

برای محاسبه فرکانسهای پیچشی، تفاضل رکوردهای دو حسگر که در دو امتداد ساختمان قرارگرفته بدست آمده و از روی آن تابع چگالی طیفی محاسبه و فرکانس غالب استخراج میگردد.

جدول (۲) - فرکانسهای طبیعی، پیچشی و درصد میرایی ساختمانها

شماره ساختمان	فرکانس طبیعی در امتداد طول	فرکانس طبیعی در امتداد عرض	فرکانس پیچشی طولی	فرکانس پیچشی عرضی	درصد میرایی طولی	درصد میرایی عرضی	تعداد آزمایش
۱	۱۰٫۶۷	۹٫۲۶	۱۳٫۰۹	۱۴٫۴۵	۲٫۸۳	۲٫۱۸	۶
۲	۶٫۴۵	۵٫۴۷	۱۰٫۹۴	۹٫۱۸	۲٫۲۵	۲٫۶۵	۶
۳	۸٫۲۰	۴٫۷۹	۸٫۹۸	۵٫۴۷	۱٫۰۴	۲٫۴۷	۶
۴	۱۰٫۴۷	۷٫۰۳	۱۱٫۱۳	۱۰٫۱۶	۱٫۸۳	۲٫۱۸	۸
۵	۹٫۶۵	۹٫۳۸	۱۴٫۶۵	۱۱٫۱۳	۱٫۲۳	۱٫۵۲	۶

در ساختمان شماره یک، ابعاد طول و عرض تقریباً به هم نزدیک هستند. لذا سختی ساختمان در دو راستا تفاوت زیادی ندارد. ولی پیچشهای طولی و عرضی با هم متفاوت است. این امر نیز بدلیل تیرریزی ساختمان در یک جهت و عدم صلبیت سقف می باشد. فرکانس زیاد ساختمان نیز به علت سختی زیاد ناشی از ضخامت فراوان دیوارهاست.

در ساختمان شماره دو، ابعاد به یکدیگر نزدیکند که سختی یکسانی را ایجاد می کنند. ولی به علت ارتفاع فراوان ساختمان و ضخامت کم دیوارها، فرکانس بدست آمده کمتر از ساختمان شماره یک می باشد.

در ساختمان شماره سه، فرکانس در دو راستا تفاوت قابل توجهی دارد که با توجه به ابعاد ساختمان نشاندهنده تفاوت سختی ساختمان در دو راستا می باشد. در ساختمان شماره چهار نیز به علت تفاوت فراوان بین ابعاد طول و عرض ساختمان، فرکانسهای طولی و عرضی اختلاف فاحشی دارند. اما با توجه به ضخامت فراوان دیوارها، فرکانسهای بدست آمده بیشتر از ساختمان شماره سه می باشد.

در ساختمان شماره پنج با وجود اختلاف ابعاد، فرکانسها به یکدیگر نزدیک هستند. به علت وجود دیوارهای داخلی زیاد، سختی ساختمان در راستای عرضی افزایش پیدا کرده است. بنابراین دیوارهای داخلی و میانقاپها تاثیر فراوانی روی سختی ساختمان دارند.



بحث و نتیجه گیری

- همانطور که مشاهده می شود فرکانسهای بدست آمده در دو راستای طولی و عرضی در محدوده ۵ تا ۱۰ هرتز هستند که برای یک ساختمان یک طبقه با مصالح بنایی گوناگون، پیش بینی می شود.
- فرکانسهای پیچشی نیز در محدوده ۶ تا ۱۴ هرتز قرار دارند و از فرکانسهای انتقالی بیشتر هستند.
- هرچه ابعاد ساختمان افزایش پیدا میکند سختی ساختمان نیز در آن راستا بیشتر شده و فرکانس بدست آمده بیشتر می شود. همچنین افزایش ضخامت دیوارها نیز باعث افزایش سختی و جرم ساختمان می گردد که اغلب میزان افزایش سختی نمایان تر است.
- همانطور که مشاهده میشود فرکانسهای پیچشی در راستای طولی و عرضی با هم متفاوت هستند. دلیل این امر را می توان ناشی از عدم صلبیت سقف و تیریزی در یک جهت دانست. سنسورهایی که در دو انتهای دورتر ساختمان قرار گرفته اند، نتایج دقیقتری می دهند.
- افزایش ارتفاع ساختمان باعث کاهش فرکانس بدست آمده می شود.
- برای ارتعاشات خفیف محیطی، سازه به صورت الاستیک رفتار میکند و میرایی مورد انتظار در حدود ۲ درصد است که با مقادیر بدست آمده مطابقت دارد.
- در ساختمان شماره ۴ با وجود آنکه طول ساختمان تقریباً سه برابر عرض آن می باشد، اختلاف قابل توجه بین فرکانسهای طولی و عرضی وجود ندارد. دلیل این امر وجود دیوارهای جداکننده و میانقاب در راستای عرضی ساختمان می باشد که سختی ساختمان را در این راستا افزایش میدهد.

قدردانی

این تحقیق با همکاری مرکز تحقیقات سازمان مسکن و شهرسازی و معاونت بازسازی مناطق روستایی بنیاد مسکن شهرهای بیرجند و تبریز انجام پذیرفته است. از همکاران این مراکز خصوصاً آقایان مهندس میرزائی علویجه، مهندس جودی و کارشناسان عباسی و عبداللهی بخاطر تلاش فراوان در انجام آزمایشات تشکر و قدردانی میگردد.

مراجع

1. Crawford, R., and Ward. H.S., (1964) "Determination of the Natural Periods of Building", bull. Of the Seis. Soc. Of Am., Vol. 54, No 6, PP 1743-1756.
2. Hart, G.C., Mclamore, V. R., and Stubbs, I. R., (1971) "Ambient Vibrations of two Suspension Bridge", J.Str.Div., ASCE, Vol. 97, NoST 10, PP. 2567-2582.
3. Aghahouchak A.A., Memari A.M., (1994) "Forced and Ambient Vibration Tests on Real buildings". Research project No: 121 publication No: 72-94-2, International institute of earthquake engineering and seismology I.I.E.E.S
۴. خسروی فر، موسوی اشکیکی، "مطالعات آسیب پذیری ساختمانهای روستایی ایران"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۴
۵. بخشی، ع، قناد، م.ع، خسروی فر، آ، موسوی اشکیکی، ا، رحیمزاده رفوئی، ف، طاهری بهبهانی، ع، بزرگنیا، ی. آسیب پذیری لرزه ای خانه های روستایی ایران، کنفرانس زلزله بهم، بنیاد مسکن، بهم، ۱۳۸۴.
6. Bakhshi A., Bozorgnia Y., Ghannad M.A., Khosravifar A., Mousavi Eshkiki E., Rahimzadeh Rofooei F. and Taheri Behbahani A., "Seismic Vulnerability of Traditional Houses in Iran", SeismoAdobe2005, Peru, Catholic University of Peru, 2005.
7. Bakhshi A., Bozorgnia Y., Ghannad M.A., Khosravifar A., Mousavi Eshkiki E., Rahimzadeh Rofooei F. and Taheri Behbahani A., "Structural Typology of Traditional Houses in Iran Based on Their Seismic Behavior", 8th US National Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, USA, 2006.
8. Bakhshi A., Bozorgnia Y., Ghannad M.A., Khosravifar A., Mousavi Eshkiki E., Rahimzadeh Rofooei F. and Taheri Behbahani A., "Seismic Vulnerability of Rural Houses in Iran", First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland.
9. Bendat J.S., Piersol A.G., (1993) "Engineering Applications Of Correlation and Spectral Analysis". John Wiley & Sons Publication, New York, USA
10. Trifunac, M.D. (1970). "Wind and Microtremor Induced Vibration of a Twenty-two Story Steel Frame Building". Earthquake Engr. Res. Lab., EERL-70-01. Calif. Inst.of Tech., Pasadena.
11. Trifunac, M.D. (1970). "Ambient vibration Test of a Thirty-nine Story Steel Frame Building". Earthquake Engr. Res. Lab., EERL-70-02 . Calif. Inst.Of Tech., Pasadena.
12. Krstevska, L., et. Al. "Ambient vibration Test on Historical Monuments". 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (ECEES), paper 543, Geneva, Switzerland, 2006



13. Rinaldis, D., et. Al. "Experimental Modal Analysis of the Cedrav Historical Building". 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (ECEES), paper 646, Geneva, Switzerland, 2006
14. Lutes, L.D., and Sarkani, S., (1997) "Stochastic Analysis Of Structural and Mechanical Vibrations". Prentice Hall Publication, New Jersey, USA
15. Fikret Gurdil A., "An Investigation of the Failure Criterion for Adobe Walls", Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 1986.
16. "The Importance of Using the Soil as a Main Material in the Construction of Dwellings and Methods Recommended to be Applied", Adobe Seminar, Ankara, Turkey, 1964.
17. Tolles, Krawinkler, "Seismic Testing on Small Scale Models of Adobe Houses", Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering, Vol. VIII.
18. Adeli, H., Mohammadi J., "On the Performance of Masonry Buildings during Earthquakes", I.W.E.B.S., Vol 1.