

## بهبود و بهسازی لرزه ای ساختمانهای بنائی ( خشتی )

علیرضا محمودی ، دانشجوی مهندسی عمران - عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد ابرکوه

E-mail : Mahmodi-alireza @ gmail.com

### چکیده :

ساخت ساختمانهای خشتی در نقاط مختلف دنیا و از جمله ایران و با توجه به وسعت گسترده سطح کویر در کشور بدیهی است که بخش زیادی از ساختمانهای روستایی را دربرمی گیرد و در ساخت این ساختمانها ، در اکثر موارد ، کوچکترین مسائل فنی در نظر گرفته نشده است.

سازگاری مناسب ، اقتصادی بودن ، سهولت و سرعت در تهیه از جمله پارامترهایی است که در این نوع مصالح (خشت) را در منطقه کویر فراموده است و به دلیل مسائل اقتصادی هم اکنون نیز ساخت این ساختمانها در کشورمان ادامه دارد. لذا در این مقاله روشهایی برای بهبود لرزه ای این ساختمانها (خشتی) پیشنهاد شده است.

### واژه های کلیدی :

ساختمان خشتی ، رفتار لرزه ای ، بهبود رفتار لرزه ای.

### مقدمه :

کشور ایران از جمله کشورهایی است بر روی کمربند زلزله آلیپاید که از کوههای هیمالیا تا دریای مدیترانه گسترش دارد واقع است و در دهه های اخیر در ایران چندین زلزله بزرگ و مخرب روی داده است که موجب تلفات سنگینی شده اند. مثل زلزله منجیل ۱۳۶۹ و زلزله بم ۱۳۸۲ که سبب مرگ دهها هزار تن شده. بر اساس آمار رسمی در سال ۱۳۷۰ حدود ۴۲ درصد از جمعیت ایران در روستاها زندگی می کنند و بنا به دلایل اقتصادی ساخت ساختمانهای خشتی هم اکنون نیز در این مناطق مشاهده می گردد.

در این مقاله به روشهای مقاوم سازی ساختمانهای خشتی در کشور خودمان با توجه به مصالح ارزان موجود اشاره گردیده است.

## رفتار لرزه ای ساختمانهای خشتی :

تکانهای لرزه ای بزرگ غالباً بر ساختمان تاثیر می گذارند . این تاثیر نه تنها به خاطر شدت نیروهای بکار رفته ، بلکه بیشتر بدین علت است که سازه ها برای تحمل نیروهای افقی طراحی نمی شوند.

سازه های با مصالح بنائی عمدتاً مقاومت کششی بسیار کمی دارند و توجه به این ویژگی ، مهمترین مسئله در مقاوم سازی ساختمانهای بنائی می باشد.

## ساخت وساز ساختمانهای خشتی :

خانه های خشتی به دلیل تنوع آب و هوایی هر منطقه از کشور، به شیوه های مختلفی ساخته می شود. علاوه بر تنوع آب و هوایی ، دسترسی آسان و اقتصادی بودن ساخت چنین ساختمانهایی در ساخت آنها تاثیر بسزایی دارد و در ساخت آنها از مصالح ارزان قیمت که در خود مناطق یافت می شود ، استفاده می گردد.

مصالحی که در ساخت این گونه ساختمانها مصرف می شود اغلب : خشت، ملات ، سنگ ، تیرهای چوبی و شاخه های چوب می باشد.

خشت که از قدیم در نقاط مختلف ساخته می شده دارای دو روش ساخت می باشد : یکی روش خشت زنی دستی و دیگری روش خشت زنی مکانیکی که با سرعت بیشتری نسبت به روش دستی انجام می گیرد. مهمترین مسئله در بدست آوردن خشت مطلوب، عمل آوردن خشت به روش درست می باشد که در طول مدت عمل آوری خشت بستگی کامل به مواد تثبیت کننده ای دارد که در ساخت آن بکار می رود. این مواد تثبیت کننده عمدتاً سیمان یا آهک می باشد، در آزمایشهای مختلفی که در این مورد انجام شده، مویید این حقیقت است که تثبیت خشت با سیمان به شدت مقاومت فشاری خشت را افزایش می دهد.

ملات استفاده شده در ساختمانهای خشتی عمدتاً از گل و کاهگل ، گل آهک و شفته آهک ، گچ و خاک می باشد.

از سنگ ساختمانهای خشتی عمدتاً در کرسی چینی استفاده می شده و از سنگهای ناهموار به شکل لاشه چینی استفاده می شود.

در پوشش سقف ساختمانها خشتی معمولاً از تیرهای چوبی استفاده می شود. و بدلیل دسترسی آسان روستاییان به چوب درختان ، به کار بردن این ماده در سقف به شدت رو به افزایش بوده است.

## اعضای اصلی ساختمان های خشتی و اشکالات موجود در ساخت آنها :

مهمترین عناصر ساخته شده در ساختمانهای خشتی عبارتند از : شالوده ، دیوار ، بازشو ، نعل درگاهی ، کلاف قائم و افقی و سقف.

### شالوده :

دیوارهای باربر در این گونه ساختمانها ، بر روی شالوده شفته آهکی یا شالوده سنگی ، عمدتاً قرار می گیرد و بندرت در تماس مستقیم با زمین ملاحظه می شوند. عدم اجرای کرسی چینی در برخی موارد در ساختمانهای خشتی باعث گردیده که بر اثر عوامل جوی مثل باران و برف قسمت پایینی دیوارها باربر خشتی تخریب شده و باعث لاغری دیوارهای باربر در قسمت پایین آن گردد. این موضوع باعث ناپایداری سازه و کاهش سطح مقطع می شده و سبب افزایش تنش فشاری در دیوار خواهد شد. و در این حالت با اندک بار جانبی واژگون می شود.

### دیوار :

بر اساس آیین نامه های مختلف ، دیوار باربر به دیواری گفته می شود که نسبت طول به ضخامت آن ، بیش از ۳ الی ۴ برابر باشد. در صورتی که نسبت طول به ضخامت کمتر از مقادیر فوق باشد، این عضو ستون خواهد شد. اشکال ستونهای خشتی آن است که به هنگام وقوع زلزله و بر اثر بارهای جانبی زلزله و خروج از مرکزیت بارهای قائم ستونها ، به همراه نیروی محوری لنگر خمشی قابل توجهی در ستونها ایجاد شده و به دلیل ضعف این اعضا در ناحیه کششی و رفت و برگشت بارهای زلزله ، ستونها به سرعت دچار انهدام کلی خواهند شد.

### بازشو :

ایجاد بازشوهایی وسیع در دیوارهای باربر خشتی یکی از عمده ترین ضعفهای موجود در ساخت چنین ساختمانهایی می باشد. اما به دلایل معماری و نورگیری فضاهای ساختمان ، نمی توان بازشوها را در نظر نگرفت. لذا می توان با محدود کردن مقادیر ابعاد بازشو طبق آیین نامه های مختلف ، ابعاد بازشو را تحت کنترل درآورد.

## نعل درگاهی :

نعل درگاهیها تیرهایی هستند که جهت انتقال بارهای ثقلی قسمت بالای بازشو به دیوارهای طرفین بازشو به کار می روند. از جمله موارد ضعف که در ساختمانهای ساخته شده خشتی دیده می شود ، عدم وجود نعل درگاه یا امتداد نیافتن نعل درگاه بر روی دیوارهای طرفین بازشو می باشد که در نهایت باعث تخریب دیوار خواهد شد.

## کلاف قائم و افقی :

کلاف بندی در ساختمان خشتی به دو صورت قائم و افقی اجرا می شود و برای عملکرد بهتر کلاف بندی بهتر است که کلافهای افقی و قائم ، اتصال مناسبی به هم داشته باشند، تا به هنگام وقوع زلزله ، ساختمان یکپارچه عمل کند. در ساختمانهای خشتی کلاف بندی به روش معمول با چوب انجام می شود و در اکثر موارد دیده می شود که کلاف بندی انجام نمی شود و فقط چند تیرک افقی که با هم ارتباطی ندارند در لابلای رجهای خشت گذاشته می شده و فقط از گسترش ترکهای ناشی از نشست جلوگیری می کند.

## سقف :

به طور کلی ، برای عملکرد بهتر سازه در برابر زلزله ، بهتر است سقف سبک باشد و به صورت یک دیافراگم صلب عمل نماید زیرا در هنگام وقوع زلزله رابطه شتاب و جرم رابطه ایی مستقیم می باشد، لذا در ساختمانهای خشتی ساخته شده ، بیشتر از سقفهای سنگین ( تیر چوبی و کاهگل) استفاده می شود و یکی دیگر از ضعفهای آن می باشد.

## بهبود رفتار لرزه ای ساختمانهای خشتی :

بهبود رفتار لرزه ای یکی از اقداماتی است که در آن باید پیوستگی و اتصال کافی بین تمام اجزای اصلی سازه ، دیوارها ، کفها و بامها رعایت شود.

اقداماتی که در بهبود رفتار لرزه ای صورت می پذیرند عبارتند از :

- ۱- تقویت مصالح
- ۲- تقویت اجزای سازه ای
- ۳- تقویت ساختمان به عنوان یک کل
- ۴- سخت کردن پی ها

۵- پایداری کردن عملکرد سازه

۶- محدود ساختن جابه جایی ها.

در اثر عمل و عکس العمل امواج زلزله ، دیوارهای متقابل را به سرعت رانش داده و عدم هیچگونه اتصال و کلاف بندی در بین نعل درگاهها و پوششهای طاق با اسکلت بنا ابتدا طاق فضا فرو می ریزد، سپس قوسهای نعل درگاه که در جهت ارتعاشات زلزله واقع شده در اثر رانش دیوارها شکسته و فرو می ریزد. از این رو با تدابیری خاص می توان تا حد امکان بناهای خشتی را در مقابل خطر زلزله مقاوم کرد.

### تقویت ساختمانهای خشتی در مقابل حرکت زمین و زلزله :

اصولاً در بناها ، کلاف دیوارهای بنای خشتی را از یکدیگر جدا می سازد. به علت استفاده از پوشش قوس به عنوان نعل درگاه فقط استقرار پا طاق بر روی نبشهای دربند می باشد. این مکان محل انتقال نیرو از قوس به سطح پاکار خواهد بود. چنانچه در زیر قوس و یا در دل قوس ( تنگ قوس) به کار رود کلاف مقاومتی بین قوس و نعل درگاه و دیوارهای پاکار به وجود می آید. این روش حرکت دیوار و طاق را از هر جهت به شکل لوله میسر ساخته و پیشگیری از تخریب قوس (سقف) را در مقابل حرکات زمین و زلزله بوجود می آورد ، برای اجرای این اقدام به فاصله یک متر پایین تر از سطح پاکار چوب مشته ( عضو عمومی) که آن را « شاخص» نیز می گویند کار گذارده می شود. برای این کار از چوب مقاومی که سطح آن بوسیله قیر و یا قطران و یا دوغاب به آهک اندود شده باشد استفاده می شود ، دیوار چینی تا سطح پای قوس ، اجرا می شود.

شاخص گذاری در ضلع مقابل به ترتیبی که گفته شد انجام می گردد. عضو دوم تیر افقی است که به صورت نیم و آنیم بر روی دو شاخص نشست کرده و بوسیله میخ بلند و یا میخ اسکپ عضو افقی « کش» با عضو عمومی « شاخص» کاملاً درگیر و متصل می شود.

برای اینکه در کلاف بندی مقاومت بیشتری ایجاد شود بهتر است بین عضو عمودی و افقی دستک و یا چپی تحت زاویه ۴۵ درجه نصب شود تا درگیری و پیوند کامل بوجود آید.

استفاده از این شیوه از قدیم معمول بوده و از این گونه کلاف بندی در قسمتهای مختلف جهت اتصالات در بناهای قدیمی ، در سطح وسیع استفاده شده است. به طور کلی با روش کلاف کشی می توان بناهای خشتی را در مقابل حرکات زمین و زلزله مقاوم کرد.

## بکارگیری الیاف درخت خرما (لیف خرما) و بهبود رفتار لرزه ای :

در مناطقی که الیاف درخت خرما وجود دارد می توان از این مصالح جهت مقاوم سازی بناهای خشتی و دیوارهای خشتی استفاده کرد ، بدین صورت که ابتدا لیف های طبیعی را در آب انداخته کاملاً خیس شده و سپس آنها را ورز داده و اصطلاحاً شانه می نند تا تار و پودهای آنان از هم جدا شده و نخ ها و الیاف مجزا از هم بدست آید پس این بندهای تابیده شده را به صورت شبکه های درهم فرو رفته تهیه کرد و در محل موردنظر قرار می گیرند.

طبق اصول و مواردی که در آیین نامه ها ذکر شده است ، پیوند و پیوستگی بین مصالح به کار رفته در یک جزء سازنده در مصالح خشتی و بنایی حائز اهمیت می باشد. این پیوستگی در محل بین ملات و مصالح خشتی و یا اتصال بین دیوارها و همچنین دیوار و سقف به علت تغییر سختی در مصالح حائز اهمیت می باشد. لازم به ذکر است که بیشتر گسیختگی هایی که در دیوارهای مصالح خشتی و بنایی در اثر وارد آمدن نیروهای خارجی پدید می آید در فصل مشترک بین مصالح خشتی و ملات بین آنها رخ می دهد.

لذا در این نقطه نظر ، قرار دادن المان هایی که قابلیت تحمل نیروی برشی را دارا باشند در این فصل مشترک می تواند در تحمل نیروهای وارده به دیوارها و اجزاء سازه ای کمک کند و این المانها در موقع وارد آمدن نیروی گسیختگی در محل باعث پیوند بلوک خشتی و ملات گلی و در نتیجه مقاومت جزء سازه ای گردیده و تخریب آن را به تعویق می اندازد.

## ارائه راه حل و پیشنهاد :

با توجه به ضعفهای موجود در ساخت و ساز ساختمانهای خشتی و با توجه به وضعیت اقتصادی کشور در مناطق روستایی ، که سعی شده از مصالح با قیمت ارزان و سبک جهت بهبود وضعیت این ساختمانها استفاده شود توصیه هایی در این قسمت آورده شده :

- حداقل امکان سعی شود که از خاک مناسب در ساخت خشت استفاده شود، لازم به ذکر است که برای بهبود وضعیت مقاومت فشاری خشت با توجه به دسترسی آسان به آهک در نقاط مختلف کشور ، می توان به راحتی این ماده را جهت ساخت خشتهای با کیفیت بالا به کار برد. همچنین به کار بردن ملات گل آهک به جای ملات گل توصیه می شود.
- پلان ساختمان های خشتی به مانند ساختمانهای بنایی دیگر ، بهتر است که به شکل کاملاً متقارن نسبت به محورهای اصلی ساختمان اجرا شود و همچنین ساخت این ساختمانها بیش از یک طبقه توصیه نمی شود. همچنین با توجه به ضعف این ساختمانها در برابر ضربه، لازم است که حداقل فاصله ۳ الی ۴ سانتیمتر با ساختمان مجاور ساخته شده ، رعایت گردد.

- عرض هیچ یک از بازشوها از ۱/۲ متر بیشتر نشود و فواصل بین بازشوها و فاصله لبه کناری بازشو با انتهای دیوار طبق توصیه های فصل سوم آیین نامه ۲۸۰۰ در مورد ساختمانهای بنایی غیرمسطح رعایت شود.

- برای سبک سازی سقف ساختمانهای خشتی، می توان از تیرهای چوبی برای تیرهای اصلی ( شاهتیرها) و تیرچه ها استفاده نمود. منتها اتصال تیرچه ها ، به تیر اصلی جهت یکپارچه نمودن سقف الزامی است. به همین منظور می توان تیرچه ها را به تیرهای اصلی میخکوبی نمود. همچنین برای جلوگیری از در رفتن تیرهای اصلی به هنگام زلزله ، طول نشیمنگاهی تیرهای اصلی را می توان ۱۰ سانتیمتر بیشتر از عرض دیوار در نظر گرفت . به منظور برطرف نمودن مشکل عایق بندی چنین سقفهایی ، می توان بعد از ریختن ۵ سانتیمتر گل بر روی تخته ها و شاخه های چوب و تراز کردن آنها ، از نایلونهای بدون سوراخ و درز ، بر روی این لایه استفاده نمود. سپس روی این نایلون ، لایه دیگری از ملات کاهگل ریخت. ضخامت این لایه بین ۵ تا ۱۰ سانتیمتر توصیه می گردد که قسمت آخر این لایه ، با نمک مخلوط خواهد شد. به این ترتیب با توجه به عایق رطوبتی (نایلون) نیازی به افزایش سالیانه کاهگل سقف، جهت عایق بندی نخواهد بود و در صورت تخریب لایه آخر کاهگل سقف ، فقط ترمیم ، لایه آخر صورت خواهد گرفت.

### نتیجه گیری :

به منظور بهبود رفتار لرزه ای اقداماتی را انجام دهیم تا شاهد عملکرد بهتری از این گونه ساختمانها باشیم این اقدامات می تواند شامل موارد زیر باشد.

- ۱) استفاده از مصالح خشتی مقاوم و مرغوب و انجام آزمایشهای لازم جهت کنترل کیفیت مصالح.
- ۲) تعویض مصالح شکسته و گسیخته شده و جایگزین آن با مصالح مرغوب و ر صورت نیاز تزریق ملات کلی.
- ۳) ایجاد اندود کاهگل مناسب و مقاوم ، جهت پوشیدن الیاف و شبکه های قرار داده شده.
- ۴) اجرای شالوده برای ساختمانهای خشتی ضروری است و در صورت در دسترس نبودن سیمان ، توصیه می شود که حداقل امکان شالوده شفته آهکی اجرا شده و برای از بین نرفتن دیوار بر اثر بارندگی و شستشو ، اجرای کرسی چینی بر روی شالوده ضروری به نظر می رسد که این کرسی چینی می تواند از سنگ و ملات شفته آهک تشکیل شود.
- ۵) در دیوار لازم است که رجهای خشت و ملات افقی باشند و درزهای قائم بین دو خشت در یک رج ، با رجهای بالایی و پایینی در یک امتداد واقع نشود و همچنین در نقاط ضعف کششی دیوار خشتی از شاخه های چوب به عنوان عضو کششی استفاده شود.

۶) در مورد نعل درگاهی در این ساختمانها که عمدتاً با تیرهای چوبی اجرای می شود، ضروری است که به میزان ۵۰ سانتیمتر از طرفین بازشو بر روی دیوارهای اطراف ادامه یابد و اگر تعداد بازشوها در یک دیوار بیشتر باشد، بهتر است که قسمت بالایی تمامی بازشوها در یک تراز قرار گرفته و از یک تیر سرتاسری به جای تیر نعل درگاهی استفاده شود که این تیر می تواند نقش کلاف افقی دیوار را هم داشته باشد.

#### مراجع :

- ۱) دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان ، مقررات ملی ساختمان ایران ، مبحث پنجم - مصالح و فرآورده های ساختمانی.
- ۲) دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان ، مقررات ملی ساختمان ایران ، مبحث ششم - بارهای وارد بر ساختمان.
- ۳) مقدم ، حسن - طرح لرزه ای ساختمانهای آجری - انتشارات دانشگاه شریف.
- ۴) صفری ، داود - جزوه درس مهندسی زلزله.
- ۵) با سلیقه ، فرنوش " ارائه راه حل های بهسازی لرزه ای ساختمانهای خشتی با استفاده از مصالح موجود در ایران " ، اولین همایش سراسری زلزله و سبک سازی ساختمان - دانشگاه قم مهر ۱۳۸۴.
- ۶) اکبری ، سید محمد مهدی " آنالیز و روشهای بهبود رفتار لرزه ای سازه های خشتی مطالعه موردی برج شماره ۳۲ ارگ بم " - دوازدهمین کنفرانس سراسری دانشجویان مهندس عمران - دانشگاه علم و صنعت ایران - آبان ۱۳۸۴.
- ۷) حامی ، احمد - مصالح ساختمانی - انتشارات دانشگاه تهران ، ۱۳۸۰.