

مقاوم سازی بناهای خشتی در مقابل زلزله

پریسا شاه محمدی
مرکز مطالعاتی و تحقیقاتی شهرسازی و معماری

واژگان کلیدی: بناهای خشتی - استحکام بخشی (مقاوم سازی) - زمین لرزه

چکیده

با توجه به وسعت گسترده مناطق گرم و خشک و کویری در جهان بخش زیادی از بناهای آن را بناهای خشتی تشکیل داده و خشت به عنوان عنصر و مصالح ساختمانی آنها مورد استفاده قرار می گیرد. اما مسئله ای که با آن مواجه هستیم این است که ساخت بناهای خشتی برخلاف آنچه که مهندسين سازه موافق با حذف آن هستند روش درست و مناسبی نیست چون ما در دنیای زندگی می کنیم که روز به روز در حال توسعه و پیشرفت است و می توان راه حل های مناسبی را در جهت استحکام بخشی و حفظ و نگهداری آنها تبیین نمود. در حقیقت دو اختلاف نظر در مورد خشت مطرح می شود که عبارتند از:

۱- نگاه فنی و ساختمانی به خشت:

در این دیدگاه خشت به عنوان یک ماده ساختمانی است که مقاومت چندانی در برابر زلزله نداشته و به طور کلی باید از احداث بناهای سنتی با خشت خودداری نمود.

۲- نگاه تاریخی و سنتی به خشت:

در این نگرش استفاده از خشت، خود به عنوان موضوع میراث فرهنگی تلقی می شود و در جهت حفظ هر آنچه که مربوط به گذشته است، به منظور حفاظت از خشت ضرورت پیدا می کند و در اینجا خشت به عنوان یک شی تاریخی به جهت نمایش و معرفی فرهنگ گذشته به آن پرداخته می شود.

با توجه به این دو دیدگاه بررسی خواهیم کرد که آیا می توان بحث خشت را در بناهای خشتی با نگاهی تازه مطرح کرد یا خیر؟ مسلماً نگاه دوم برای ما ارزش بیشتری دارد و سعی خواهیم کرد تا با ارائه راهکارهای مناسب بتوانیم از خشت در دنیای امروزی استفاده و از حذف آن خودداری کنیم.

در این مقاله با مرور مختصری بر عملکرد زمین لرزه در بناهای خشتی سعی شده تا با شناساندن معماری خشتی، محدودیتها و امکانات و جایگاه و منزلت آن پرداخته و در نهایت با اتخاذ راهکارهای مناسب برای آینده به ارتقا کیفی ساخت و سازهای آن دست یابیم. نتایج حاصل از بررسی های مختلف، مطالعه های موردی و خسارات سنگینی که زمین لرزه به بناهای خشتی وارد نموده است این ضرورت را نشان می دهد که می بایست حداقل در مورد چگونگی تهیه و کاربرد خشت تحول ایجاد نمود. در این مقاله به بهینه سازی و استحکام بخشی خشت با استفاده از مسلح کردن آن به روش های مختلف پرداخته می شود. این موضوع تفکری است که لزوم پردازش دقیق و اجرای منطقی آن می تواند تا حدود زیادی تضمین کننده قوام و ثبات بناهای خشتی باشد.

هدف ما، ارائه تعریفی برای احیا بناهای خشتی از طریق مسلح کردن آن به شیوه های مختلف از جمله مسلح کردن آن با آرماتور های افقی و عمودی، مواد افزودنی، طراحی قوی و ... می باشد که با رعایت آنها می توان تا حدود زیادی از نقاط ضعف آن کاست و مقاومت آن را در برابر زمین لرزه افزایش داد. و آنچه مدنظر است گسترش نظری این ایده می باشد. در نهایت با نتیجه گیری از مقاله، این موضوع مطرح می شود که حفاظت و احیا بناهای خشتی می تواند اولین قدم در جهت معرفی صحیح پتانسیل های نهفته در این بناها باشد و در واقع بناهای خشتی محکوم به فنا و نابودی نیستند، بلکه می توان از خشت با اندک تغییری در زندگی امروز نیز استفاده کرد به طوری که حتی در برابر زمین لرزه و سایر عوامل طبیعی مقاوم بوده و همچنان پابرجا بماند.

۱- مقدمه

خشت! اولین چیزی که در مورد این کلمه ما را به فکر فرو می برد عدم مقاومت و استحکام خشت در برابر زلزله است. در واقع این مسئله مطرح می شود که آیا می توان خشت را با توجه به اینکه در مقابل تکان های شدید زلزله بسیا ضعیف عمل می کند مقاوم سازی نمود؟ چطور می توان که مقاومت بناهای خشتی را در مقابل زلزله افزایش داد؟ سنگین بودن بناهای خشتی که باعث جذب نیروی زلزله می شوند از یک طرف، شکننده بودن آن و مقاومت کششی بسیار ناچیز آن از طرف دیگر باعث تخریب و فروریزی اینگونه بناها در هنگام زلزله می شوند. اما تنها نمی توان با در نظر گرفتن مقاومت کم خشت در مقابل زلزله از احداث بناهای خشتی خودداری نمود و موافق با حذف آن در دنیای امروزی شد. در حقیقت دنیای امروز روز به روز در حال توسعه و پیشرفت است و می توان راه حل های

مناسبتی را جهت استحکام بخشی و حفظ و نگهداری آنها تبیین نمود. علاوه بر این مسائل، موارد بسیار مهمی نیز وجود دارد که باید آنها را از نظر گذراند، متناسب بودن خشت با اقلیم منطقه، سازگاری مناسب، اقتصادی بودن، سهولت و سرعت آن از جمله پارامترهایی هستند که کاربرد این نوع مصالح را در مناطق کویری و گرم و خشک فراگیر نموده است.

۲- عملکرد زلزله در بناهای خشتی

زلزله یکی از عواملی است که در طول تاریخ باعث تخریب و متلاشی شدن بناهای خشتی شده است. به طوری که بر پیکر بنا ارتعاشاتی را به وجود آورده و در اثر امواج ایجاد شده، دیوارها حرکت کرده و باعث غیرشاقولی شدن آنها می گردد. ساختمان های خشتی با وزن بسیار زیاد، مقاومت کم و رفتارهای آسیب پذیر و شکننده صدمات و زیان های قابل توجهی را به بناها وارد کرده و نه تنها در کشور ما بلکه در تمام کشورهای جهان جان هزاران انسان را گرفته است. در زلزله سال ۲۰۰۱ در السالوادور، بیش از ۲۰۰ هزار ساختمان خشتی صدمه دیده و فرو ریختند، ۱۱۰۰ نفر در زیر آوارهای خشتی جان خود را از دست دادند و بیش از یک میلیون نفر بی خانمان شدند.



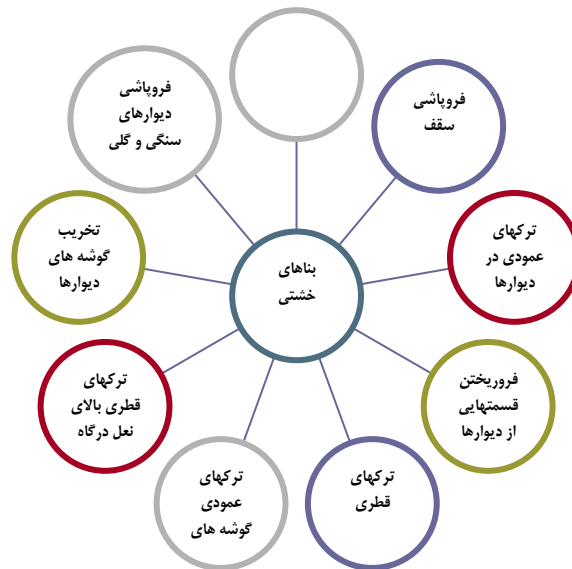
تخریب خانه های خشتی السالوادور در مقابل زلزله

در همین سال زمین لرزه ای در جنوب پرو باعث مرگ ۸۱ نفر، تخریب تقریباً ۲۵ هزار خانه خشتی و آسیب و زیان ۳۶ هزار خانه دیگر شد، که نتیجه آن این بود که ۲۲۰ هزار نفر سر پناه خود را از دست دادند.



تخریب خانه های خشتی پرو مقابل زلزله

رفتار بناهای خشتی هنگام زلزله تابع شرایط مختلفی است به این ترتیب که الگوی رایج تخریب بناهای خشتی هنگام زلزله با ایجاد ترکهای عمودی در محل اتصال سقف به دیوارها آغاز شده و به سرعت گسترده می شوند تا آن که دیوارها را از سقف جدا می کنند، بعد از این جدایی دیوار جلویی فرو ریخته و به دنبال آن سقف تخریب می گردد. اثر عمل و عکس العمل امواج زلزله، دیوارهای متقابل را به سرعت رانش داده و عدم هیچ گونه اتصال و کلاف بندی باعث تخریب بنا می شود. از این رو با تدابیری خاص می توان تا حد امکان بناهای خشتی را در مقابل خطر زلزله نیز مقاوم کرد. از جمله تخریب هایی که در هنگام زلزله رخ می دهد می توان به موارد زیر اشاره نمود که در بسیاری موارد باعث متزلزل شدن بناهای خشتی می شود:





تخریب گوشه های دیوارها



فروپاشی دیوارهای سنگی و گلی



فروپاشی سقف



ترکهای عمودی در گوشه های دیوارها

۳- افزایش مقاومت ساختمان های خشتی در مقابل زلزله

به علت در دسترس بودن و ارزان تر بودن خشت، ساخت بناهای خشتی در نواحی گرم و خشک به خصوص در مناطقی که دارای ریسک بالای زلزله هستند ادامه پیدا خواهد کرد. در واقع با پیشرفت تکنولوژی های ساختمانی، ساخت این نوع بناها نیز باید به صورت گسترده ای توسعه یابد تا علاوه بر حفظ سنت بتوان نوستالژی این مصالح را برای ساکنان این منطقه فراهم نمود. در واقع با حذف خشت، سنت و تاریخ چندین هزار ساله خود را به دست فنا و فراموشی سپرده ایم.

نکته قابل توجه در مورد خشت آن است که نزدیک به نیمی از جمعیت جهان در ساختمانهای خشتی زندگی می کنند. به جز قطب شمال و جنوب، منطقه ای را نمی توان بر روی زمین یافت که در آن خشت به عنوان مصالح ساختمانی یافت نشود. به طور کلی شیوه های تقویت بناهای خشتی در مقابل زلزله را می توان به دو بخش تقسیم کرد:

- روش هایی که با اضافه کردن مواد مصنوعی و طبیعی به خشت در پی افزایش مقاومت کششی این ماده هستند.
- روش هایی که با استفاده از قاب بندیها و کلاف بندی در داخل دیوار و به ویژه در نقاط اتصال سقف به دیوار در پی همگن کردن سازه بنا می باشند.

لازم به ذکر است تقویت ملات خشت و استفاده از انواع سیمانها در اتصال خشت به تنهایی تاثیر چندانی بر افزایش مقاومت در مقابل زلزله ندارند. نکته قابل ذکر در انتخاب جنس کلافها آن است که اساسا خشت قابلیت اتصال خوبی به فولاد یا بتن ندارد و به همین دلیل استفاده از کلافهای بتنی یا فولادی و آرماتور برای اتصال اندامهای الحاقی هنگام زلزله آسیبهایی مخربی را بر بنا باقی خواهد گذاشت.

با توجه به مطالعات و تحقیقات بسیاری که در این زمینه انجام شده است، فاکتورهایی برای مقاوم سازی بناهای خشتی در مقابل زلزله مطرح شده است که عبارتند از:

الف: کیفیت ساخت بلوک های خشتی

از فاکتورهای کلیدی که در کیفیت ساخت بلوک های خشتی تاثیری دو چندان دارد می توان به خصوصیات مواد ترکیبی خشت اشاره نمود که تاثیرات بسیار زیادی را در استحکام بناهای خشتی دارند که از آن جمله می توان به خاک رس و مواد افزودنی آن اشاره نمود:

۱- خاک رس:

خاک رس به عنوان یک ماده اصلی ساخت خشت به شمار می رود که استحکام آن را فراهم می کند. بیشترین نقش مواد پرکننده ای را ایفا می کند و به منظور کاهش ترکها به کار می رود. خاک رس چون در ترکیب با آب آن را جذب می کند تا سیراب شود و پس از آن در سطح های بیرونی خود شروع به خشک شدن می کند در نتیجه میزان آب موجود در خشت تغییر می کند و این امر دو گونه دگرگونی را در پی دارد:

- مقاومت آن در برابر پدیده های بیرونی
- میزان انرژی ذخیره در آن

با انجام دادن آزمایشی می توان میزان استحکام خاک رس را سنجید. به این ترتیب که حداقل سه گلوله گل در حدود قطر ۲ سانتی متر از خاک انتخاب شده را جدا کرده و بعد از ۲۴ ساعت که خشک شد، هر گلوله گلی را بین دو انگشتان خرد می کنیم. اگر هیچ یک از گلوله های گلی خرد نشد، خاک انتخاب شده شامل خاک رس کافی برای استفاده بناهای خشتی است. در نتیجه ترکهای کوچک ملات که ناشی از انقباض آن در هنگام خشک شدن است در آن قابل کنترل می باشد. اگر بعضی از گلوله ها خرد شود نشان دهنده آن است که خاک رس آن غیر کافی است و قابل استفاده برای ساخت بلوک های خشتی نمی باشد.

۲- مواد افزودنی:

- خاک رس مرغوب با کاه و خرده سنگ تهیه می شود. وجود کاه باعث اتصال دانه های خاک به یکدیگر شده و خرده سنگ مقاومت خشت را زیاد می کند تا خشت در زیر بارهای فشاری بنا، تاب فشاری بیشتری را تحمل کند. در واقع کاه مانند آرماتور در بتن دانه های رس و ماسه را به هم نگه می دارد و مانع از ترک خوردن آن می شود.
- شن درشت هم در ترکیب با خاک رس، ترک های کوچک ملات که ناشی از منقبض شدن آن در هنگام خشک شدن است را کنترل می کند.
- برای مقاوم کردن خشت گاهی به آن گرد آهک هم اضافه می کنند.
- استفاده از ماسه و ریگ که از نظر رس بسیار غنی است مفید به نظر می رسد.

به طور کلی می توان مواد افزودنی را به صورت زیر دسته بندی کرد:

- ۱- مواد و مصالح ارگانیک فیبردار(الیافی)، کاه، موی حیوانات، سیوس و ...
 - ۲- مواد و مصالح ارگانیک نسبتاً چسبیده و کم خرج مانند فضولات حیوانی
- مقاومت رس در برابر نیروهای کشش بسیار ضعیف است و این ضعف را با افزودن مواد الیافی می توان جبران کرد.

با انجام دادن آزمایش دیگری نیز می توان ترک های کوچک خشت را کنترل کرد. دو یا چند آجر خشتی را به همراه ملات (مواد افزودنی) آماده کرده و بعد از ۴۸ ساعت که خشک شد اگر ترک هایی در روی آن مشاهده نشد به معنی آن است که آجرهای خشتی برای ساخت بناهای خشتی مناسب هستند. به همین ترتیب شن درشت به عنوان یک افزودنی برای کنترل ترک های کوچک حاصل شده در اثر انقباض می باشد. تناسب کافی خاک- شن درشت توسط آزمایش کنترل ترکهای کوچک تعیین می گردد. تناسبات شن درشت باید بین ۱ تا ۱/۳ باشد.

ب: طراحی قوی

- از قوانین بسیار مهمی که در تقویت بناهای خشتی در مقابل زمین لرزه استفاده می شود اهمیت دادن به طراحی متراکم و محصور می باشد.
- پیشنهاداتی که در این زمینه وجود دارد عبارتند از:
- ساختن خانه های یک طبقه
 - استفاده از سقف های سبک وزن به جای سقف های سنگین وزن

- نحوه چیدمان دیوارها و استفاده نمودن از دیوارهای پشت بند و دیوارهای متقاطع در فاصله های منظم و در هر دو جهت

پ: توسعه تکنولوژی های ساختمان

استحکام بخشی بناهای خشتی موجود با استفاده از مصالح تقویتی مختلفی آزمایش شده است، که از آن جمله می توان به آرماتورهای افقی و عمودی، تخته های چوبی، مش های به هم متصل شده و غیره نام برد. در زلزله ای که در سال ۲۰۰۱ در پرو رخ داد، ساختمانهای خشتی که با شبکه مش تقویت شده بودند در هنگام زلزله هیچ گونه صدمه و خسارتی ندیدند، در صورتی که قسمتهای صدمه دیده به علت عدم تقویت آن از استحکام کافی برخوردار نبوده و از چندین ناحیه فرو ریختند.



ساختمانهای خشتی تقویت شده در پرو که در هنگام زلزله خسارتی ندیدند

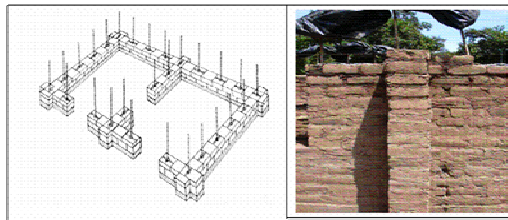
۱- استفاده از آرماتورهای افقی و عمودی:

آرماتورها می توانند قابلیت انبساط و شکل پذیری را در مصالح ایجاد کنند که این آرماتورها عبارتند از: بامبو، نی، نیشکر، درخت مو، الوارهای چوبی، مفتولها، سیم خاردار و یا میله های فلزی. آرماتورها عمودی به اتصال دیوارها به پی و کلافها کمک می کنند و نیروهای خمشی و برشی را مهار می کنند. آرماتورهای افقی به انتقال نیروهای خمشی و اینرسی در دیوارهای متقاطع به دیوارهای برشی کمک کرده و به علاوه باعث جلوگیری از فشارهای برشی بین دیوارهای مجاور و گسترش حداقل ترک عمودی می شوند.

آرماتورهای افقی و عمودی باید به همدیگر و دیگر عناصر سازه ای (پی، خاموت، سقف) متصل باشند. این الصاقات یک سیستم محکمی را به وجود می آورد که قویتر از ترکیبات فردی کار می کند. قرارگیری آرماتورها باید به دقت صورت گیرد و باید با مقررات خاص آن ساخته شود.

در ساختن ابنیه خشتی معمولاً خشت های گلی به همراه مصالح دیگری به کار می روند تا به این ترتیب نقاط ضعف خاص این مصالح برطرف شود. از جمله این مواد و مصالح می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- چوب: این ماده زمانی در ابنیه خشتی به کار می رود که مقاومت جذب در مقابل نیروهای کششی و خمشی نیاز باشد.
 - ۲- حصیر: افزودن حصیرهایی که از برگ درخت خرما ساخته شده اند باعث این ماده در پخش نیروهای فشاری در سازه های سنگین می شوند.
- نکته قابل ذکر در انتخاب جنس کلافها آن است که اساساً خشت قابلیت اتصال خوبی به فولاد یا بتن ندارد و به همین دلیل استفاده از کلافهای بتنی یا فولادی و آرماتور برای اتصال اندامهای تزیینی هنگام زلزله آسیبهای مخربی را بر بنا باقی خواهد گذاشت.



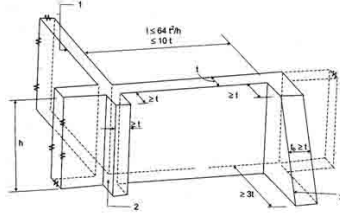
استفاده از آرماتورهای افقی در بناهای خشتی برای مقاوم سازی نمودن آن

۲- استفاده از دیوارهای پشت بند:

در بناهای خشتی ساختن دیوار پشت بند امریست معمول که اجرای آن به صورت قائم و یا مورب انجام می گردد. ساختن این دیواره ها به صورت رج به رج انجام می شود تا پیوند و اصطلاحاً « قفل و بست» در اسکلت بنا به وجود آید.

دیواره های پشت بند معمولاً در محل تقاطع دیوار و به شکل بعلاوه ساخته می شوند که بنا را از هر طرف مقاوم ساخته و سبب افزایش مقاومت در مقابل نیروی رانش و زلزله خواهد شد.

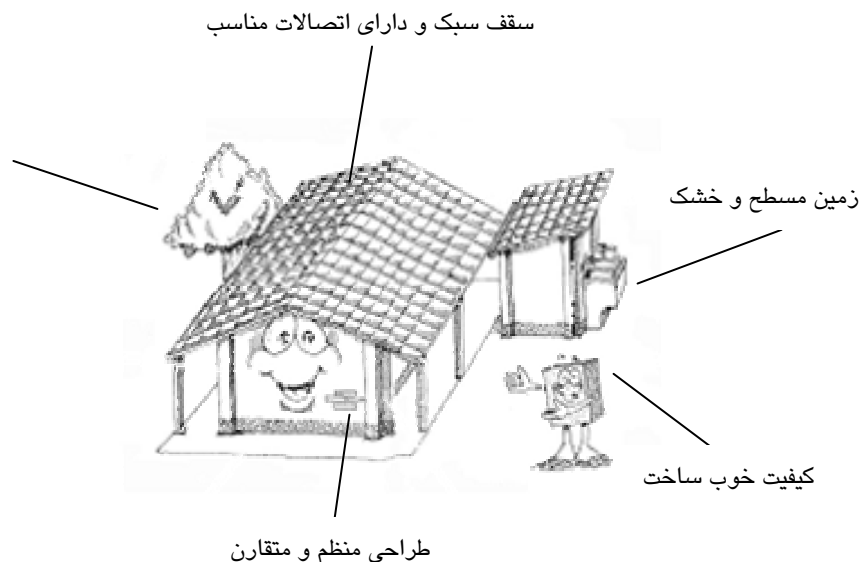
اگر شکل بنا طوری باشد که فضاها به یکدیگر تکیه داشته باشند مجموعه فضاها همراه با دیوارهای ضخیم نیز در مقابل زلزله مقاومت بیشتری خواهند داشت.



استفاده از دیوارهای پشت بند برای مقاوم سازی بناهای خشتی در مقابل زلزله

۴- نتیجه گیری

با رعایت کردن اصول و روش هایی که در بالا ذکر شد می توان تا حدی بناهای خشتی را در مقابل زلزله مقاوم نمود. استفاده از آرماتورهای افقی و عمودی که باعث جلوگیری از فشارهای برشی و گسترش حداقل ترکهای عمودی می شوند، استفاده از مصالح چوبی که باعث پخش نیروهای فشاری در سازه های سنگین، استفاده از دیوارهای پشت بند که سبب افزایش مقاومت در مقابل نیروی رانش و زلزله می شود، اهمیت دادن به طراحی بناهای خشتی از دیگر فاکتورهای مهم، استفاده از مواد افزودنی به خاک رس برای جلوگیری از نیروهای کششی بسیار ضعیف خشت و ... همه این فاکتورهای در مقاوم سازی خشت از اهمیت بالایی برخوردارند و باید تمام تلاش خود را به کار بست که از روش های مختلفی برای مقاوم سازی بناهای خشتی استفاده نمود تا علاوه بر محافظت آنها در مقابل زلزله بتوان مصالح سنتی خود را حفظ نمود.



منابع

1- www.world-housing.net/adobetutorial

2- www.idrc.ca

۳- آیین نامه طراحی ساختمان های در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش دوم، آذر ماه ۱۳۸۷.

۴- معماریان، غلامحسین. آشنایی با معماری مسکونی ایران، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۷۵.

۵- توسلی، محمود. ساخت شهر و معماری در اقلیم گرم و خشک، انتشارات پیام، ۱۳۸۱.

۶- پیرنیا، محمد کریم. آشنایی با معماری اسلامی ایران، انتشارات دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۷۴.