صفحات ۶۲-۵۳

ابنیه خشتی مقاوم در برابر زلزله*

دکتر شوکا خوشبخت بهرمانی**، دکتر منصور سپهری مقدم***

تاریخ دریافت مقـاله: ۱۳۸۹/۰۵/۲۰
تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۸۹/۰۸/۱۷

چکیده

امروزه بیش از یک سـوم مردم جهان در ابنیه خاکی زندگی می کنند. آیین نامه های موجود در ایران اسـتفاده از خشت را علی رغم قابلیت های بسیار محدود کرده است. این در شرایطی است که امکان ساخت بنا با اسکلت فولادی یا بتنی برای بسیاری افراد وجود ندارد .در صورتی که مقاومت کششی ابنیه خشتی تقویت گردد ، استفاده عمومی در ساخت این گونه ابنیه مقدور خواهد گردید. در غالب نمونه های باقیمانده از معماری گذشته ایران به کمک تبدیل نیروهای کششی به فشاری این ضعف برطرف شده است .نتایج پژوهش نشان می دهد همنشینی خشت،سیمان و میل گرد جهت تثبیت ساختمان های خشتی مناسب است و اگرچه دیوار خشت فشرده تثبیت شده به لحاظ مقاومت و میزان تغییر مکان رکوردها، واجد امتیازکمتری از دیوار بنایی است، ولی انطباق لازم با آیین نامه های موجود را دارا است. همچنین این سامانه واجدکارایی ساختمان های آجری با کلاف فولادی نیز می باشد.

واژه های کلیدی

معماری خاکی، خشت، توسعه پایدار، بلوک خشتی فشرده تثبیت شده، زلزله

* مقاله برگرفته از رساله دکتری به راهنمایی دکتر منصور سپهری مقدم و دکتر حمزه شکیب با عنوان ؛ معماری با خشت ، راهبردهای ساخت ابنیه خشتی مقاوم در برابر زلزله ، است که در دانشکده هنر و معماری واحد علوم و تحقیقات ارائه گردیده است.

** دانش آموخته دوره دکتری معماری ، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علو م وتحقیقات، تهران، ایران (مسئول مکاتبات)
Email: shooka.khoshbakht@gmail.com

*** استادیار دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی ،واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران Email: dr_m_sepehri @iust.ac.ir

مقدمه

امـروزه بیش از یک سـوم مردم جهـان در سـاختمان‌هایی زندگی می‌کنند که از مصالح خاکی سـاخته شـده اسـت. در کشور انگلستان بیش از نیم میلیون نفر در خانه‌هایی سنتی و یا مدرن با مصالح خاکی سـاکن هسـتند *(Little and Morton, 2001)*. بیش از بیست میلیون نفر از سـاکنین روسـتاها در ایران، در خانه های روستایی ساخته شده از مصالـح بنایی زندگی مـی کنند. اکثر قریب به اتفاق این گونه خانه ها بدون هیچ گونه تمهیدی برای تحمل نیروی جانبی و توسـط خود اهالی سـاخته می شود. رفتار این سـازه ها کاملاً ترد و شکست آن ها در اثر بارهای جانبی زلزله آنی اسـت و فرصت عکس العمل را از ساکنین در زمان زلزله سلب می نماید *(تابش‌پور، ۱۳۸۶)*. به عنوان مثال قسمت عمده تلفـات زلزلـه های اخیر نظیر بم با بیش از چهل هزار کشـته و زرند با حدود ششـصد و پنجاه کشـته ناشـی از این موضوع بوده است *(دهقان بنادکی، ۱۳۸۷)*. در خارج از ایران هم، زلزله سال ۲۰۰۱ کشور السالوادور، نزدیک به ۲۰۰ هزار خانه خشـتی را تخریب نمود و جان ۱۱۰۰ نفر را گرفـت و یک میلیون نفر را بی خانمان کرد. در همان سـال در جنوب پرو زلزله ای دیگر سبب تخریب کامل ۲۵۰۰۰ واحد مسکونی با مصالح خاکی و مرگ ۸۱ نفر شد *(تابش‌پور و فرهنگ‌فر، ۱۳۸۴)*.

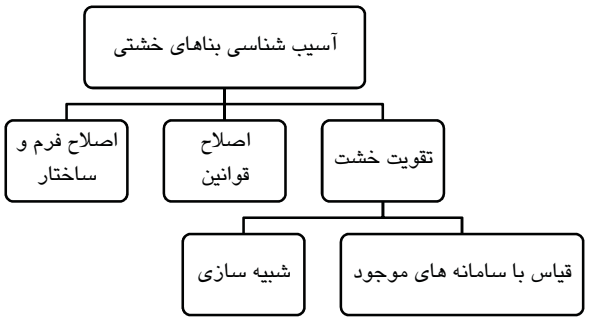
ساخت ابنیه خشتی سـبب کاهش هزینه اجرا و کاهش آلودگی محیط (در عدم استفاده از مصالح صنعتی)، نسبت به سایر مصالح بنایی می گردد و ضعف اصلی آن مقاومت کم در برابر نیروهای جانبی زلزله اسـت. در غالـب نمونه‌های باقی مانده از معماری گذشـته ایـران که در مقیاس بناهای عمومی اسـت، به کمک تبدیل نیروهای کششی به فشاری این ضعف برطرف شده اسـت. وجود قوس‌ها و طاق‌های عظیم شاهد این تلاش اسـت. اما در معماری مسـکونی با مقیاس کوچک و به صورت مدولار، که مناسـب اسکان خانواده‌ها باشد، امکان ساخت طاق و قوس عظیم میسر نیست.

آیین نامه‌ها و ضوابط موجود در ایران با حذف صورت مسـاله، استفاده از خشـت را علی رغم قابلیت‌های بسـیار، محدود نموده است. این در صورتی اسـت که امکان ساخت بنا با اسـکلت فولادی و یا بتنی برای بسـیاری افراد به لحاظ اقتصادی امکان‌پذیر نیست؛ امروزه کشورهای توسعه یافته استفاده از مصالح صنعتی را به دلیل آلودگی محیط محدود کرده‌اند، استانداردهای موجود در ایران آن را تشویق می‌نماید *(خوشبخت بهرمانی، ۱۳۸۸)*.

روش های مختلفی برای باسازی و ساخت ابنیه خشتی در دنیا پیشنهاد شـده است که با توجه به شرایط بومی مناطق بوده است و می توان به عنوان نمونه به مطالعات و سـاخت ابنیه خشتی در اوگاندا *(CRATerre Editions, 2005)* اسـکاتلند *(Little and Morton, 2001)*؛ اسـترالیا *(Heathcote and Moor, 2002)*؛ پـرو *(Torrelva and Villa Garcia, 2002)* و عربسـتان سـعودی *(Facey, 1998)* اشـاره کرد. شرایط زلزله خیزی و اقلیمی ایران و روش های مرسوم ساخت و دسترسی به مصالح سبب گردید سامانه متشکل از دیوار با بلوک خشتی فشرده تثبیت شده پیشـنهاد گردد. برای این منظور سامانه پیشـنهادی با نرم افزار های محاسـباتی شبیه سـازی و با دیوارهای مشابه با بلوک خشتی ساده و آجری واجد کلاف قائم و عمودی مقایسه گردید (شکل ۱).

ضرورت موضوع

واضح اسـت ابنیه خاکی به اسـتواری ابنیه سـاخته شده از سنگ یا آجرهای رسـی پخته، در برابر شـرایط جوی مقاوم نمی باشـد ولی درس های فراوانی از ساختمان های خاکی سنتی وجود دارد که می تواند الهام بخش معماری خاکی جدید بومی گردد. بسـیاری از ابنیه مربوط به دوران قبل از اسـلام و اوایل دوره اسـلامی با خشـت بنا شده بودند ماننـد زیگورات چغازنبیل در خوزسـتان که متعلـق به حدود ۱۲۵۰



شکل ۱. نمودار کلی تحقیق

سال قبل از میلاد است (طبسی, ۱۳۸۴). البته باید متذکر شد، عمر ساختمان های خاکی تنها به مصالح و شیوه ساخت بستگی ندارد بلکه کیفیت کار کارگران و طراحی مناسب منطبق با بستر طرح نیز تاثیر بسیاری بر عمر ساختمان دارد.

شیوه‌های سنتی ساختمان های خاکی می تواند با ساختارهای مدرن به روز گردد. ساختمان‌هایی که در ساخت آنها از مصالح طبیعی همچون خاک، نی، چوب و سنگ استفاده شده است کیفیت پایداری دارند که از مزایای آن ها می‌توان در ساخت های جدید استفاده کرد. به ویژه فناپذیری مصالح خاکی امکان استفاده مجدد از مصالح را به صورت ایمن و بدون آلودگی و با حداقل مصرف انرژی فراهم می نماید *(Little and Morton, 2001)*.

با توجه به این که در ساختمان‌های خاکی با اجرای سنتی امکان اجرای بازشوهای بزرگ و متعدد و ساخت چند طبقه وجود ندارد، محدودیت‌هایی برای طراحانی که تمایل دارند از پلان و نمای آزاد استفاده نمایند و یا بناهای چند طبقه بسازند، به وجود می آید، از این رو خاک و گل محبوبیت خود را به عنوان مصالح ساختمانی در این رویکردها از دست داده است.

در روش های سنتی اگر چه استحکام مصالح نقش به سزایی داشته ولی شکل و فرم قرارگیری آن ها نیز بی تاثیر نبوده است *(مجابی, ۱۳۸۴)*. مهم ترین نقاط ضعف خشت درمقاومت پایین آن در مقابل باران و رطوبت بالارونده؛ انقباض سطحی؛ باد و طوفان و عوامل زیستی دسته بندی می شود *(کی نژاد, ۱۳۸۴)*.

بر خلاف گستردگی سازه های بنایی، برنامه طراحی برای این گونه از سازه ها در نظر گرفته نشده است و فقط به صورت کلی به اجرای کلاف های قائم و افقی برای کاهش خطر زلزله بسنده شده است، و روش های طراحی و محاسباتی؛ این دسته از ساختمان ها را به آئین نامه های معتبر دیگر ارجاع داده است *(رضاوندی و جناب زاده،۱۳۸۲)*.

از لحاظ ساختار معماری، آئین نامه مقاوم سازی ساختمان ها در برابر زلزله اشکال ویژه ای از ساختمان را مد نظر قرار داده است، اما ضوابط موجود در این آئین نامه برای ساختمان های روستایی و گونه های موجود کافی نیست. *(ثقفی, ۱۳۸۵)* تنها در آیین نامه طراحی ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله *(در بخش ۲-۲ آیین نامه ۲۸۰۰)*، احداث ساختمان های سنتی که با گل و خشت ساخته می‌شوند را به علت ضعف مصالح و مقاومت محدود آن در مقابل زمین لرزه محدود نموده است و به طور استثنا ایجاد این گونه ساختمان ها تنها را در نواحی دوردست و مطابق دستورالعمل فنی ویژه ای مجاز شمرده است. همچنین در بخش ۱۴-۱۰ با عنوان "اجرای دیوارهای سازه ای" آیین نامه ۲۸۰۰ "طراحی ساختمان در برابر زلزله" ذکر شده است: "در ساختمان های با مصالح بنّایی استفاده از ملات گل و یا گل آهک مجاز نمی باشد." همچنین در این آیین نامه برای "تدوین و ترویج ضوابط و دستورالعمل های فنی ویژه با به کارگیری عناصر مقاوم بتنی" به وجود نداشتن آیین نامه خاص در این رابطه اشاره نموده است و بر اهمیت و ضرورت تدوین آن تاکید نموده است. "در مبحث هشتم مقررات ملی به عنوان ضوابط و مقررات مربوط به ساختمان های بنایی در ایران احداث ساختمان‌های خشتی بدون کلاف ممنوع شده و در مورد بقیه ساختمان های خشتی که در مقابل نیروهای قائم یکپارچگی نسبی اجزا خود را حفظ نمایند و واجد حداقل مقاومت لازم در مقابل لرزه های خفیف و متوسط باشند، اجرای آنها را بلامانع دانسته است"*(اژدر و مهرنهاد, ۱۳۸۷)*. با مقایسه ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ با ضوابط تجربی آئین نامه های سایر کشورها (جدول ۱)، مشاهده می شود ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ در برخی موارد فاقد شرایط ایمنی است. همچنین تأکید آئین نامه ۲۸۰۰ در مورد ایجاد ساختمان های

جدول ۱. استاندارد موجود ساخت ابنیه خشتی در برخی کشورها

آمریکا	مسلح کردن فلزی عمودی دیوارها در مناطقی که واجد خطر زلزله بالای یک هستند (تقریبا کل آمریکا را در برمی‌گیرد.) توصیه شده است *(Moquin, 2000)*.
مکزیک	قوانین، ساخت بناهای خشتی در مناطق با سابقه تاریخی توصیه نموده است و در بازنگری های اخیر، ضرورت استفاده از مقطع فلزی عمودی حذف شده است *(Moquin, 2000)*.
آلمان	پس از خرابی‌های جنگ جهانی دوم ۴۰۰۰۰ خانه خشتی ساخته شد اما به سال ۱۹۷۰ دولت آلمان ساخت خانه‌های خشتی را ممنوع نمود. با افزایش نگرانی‌ها جهت آلودگی محیط زیست و افزایش توجه به معماری پایدار مجددا قوانین آلمان به ساخت بناهای خشتی تمایل یافته است *(Moquin, 2000)*.
افغانستان	به سال ۲۰۰۳ میلادی به علت عدم وجود آیین نامه ای مشخص، مرکز توسعه منطقه ای سازمان ملل با همکاری وزارت توسعه شهری افغانستان به تدوین راهنمایی برای طراحی و ساخت سازه های خشتی مقاوم در برابر زلزله پرداخت *(پارسا et al., ۱۳۸۶)*.

نوسـاز است. پیشنهادات این آئین نامه در مقاوم سازی ساختمان های خشـتی و آجری غیرمسلح موجود در بافت های قدیمی شهرها تقریبا قابل اجراء نمی باشـد و یا بسـیار هزینه بر و از لحاظ اجرائی مشکل و غیـرکارا خواهد بود *(رازانی، ۱۳۸۴)*. با وجود امتیازات بسـیار در فصل سـوم استاندارد ۲۸۰۰، نواقص متعددی موجود است *(سرلک، ۱۳۸۵)* که باید ملحوظ گردد و می توان به محدودیت تعداد طبقات و محدودیت نسـبت ارتفاع یا طول به ضخامت بین تکیه گاه ها اشـاره نمود *(طارق وارشـاد،۱۳۸۶)*.

هدف، سوال و فرضیه تحقیق

پژوهش درصدد دستیابی به استعدادهای نهانی مصالح جدید استخراج شـده از خاک اسـت و همچنین بررسی تاثیر اسـتفاده از آن در محیط طبیعی مدنظر بوده اسـت. هدف نهایی دسـت یافتن به شاخصه هایی بـوده که با ارائه نمونه خشـتی، در معماری امروزی راهگشـایی جهت معضلات کاهش خطرلت ناشی از زلزله، گرانی مسکن، اشتغال زایی و کاهش مصرف انرژی باشد. در حقیقت وسعت بخشیدن به کاربرد گل به صورت خام به عنوان یک مصالح سـاختمانی اصلی از نتایج پژوهش بوده است.

سوالات مطروحه به شرح زیر است:

– آیا ضوابط و آیین نامه‌های موجود پاسخگویی مناسب برای معماری

– آیا می توان مقاومت خشت را در حد مصالح دیگر بالا برد؟ آیا می باید خشت را با مصالح دیگری جایگزین و یا ترکیب نمود؟

– رفتار لرزه‌ای ابنیه خشتی در برابر زلزله چگونه است؟ و چگونه می توان آن را ارتقاء داد؟

پیش فرض پژوهش بر مبنای دوام ساختمان‌های خشتی طی چندین هزارسـال بوده اسـت. به نظر می‌رسـد با یافتن راهکارهای جدید در جهت تثبیت، خشـت می‌تواند همچنان به عنوان یک ماده ساختمانی پایدار مـورد توجه قرار گیـرد. زلزله خیز بودن ایـران نیازمند تدوین قوانین و اصولی اسـت که مقاومت بنای خشتی در برابر زلزله و سایر نیروها تامین گردد. اشـاره مشـخص آیین نامه ۲۸۰۰ برای«تدوین و ترویـج ضوابط و دسـتورالعمل های فنی ویژه با بـه کارگیری عناصر مقاوم بتنی»؛ روندی اصولی برای ارائه نمونه کاربردی از ساخت ابنیه خشـتی را متذکر می گردد. به نظر می رسد در این راستا باید، "رفتار لرزه ای ابنیه خشتی" مورد مطالعه قرار گیرد؛ "الزامات موجود طراحی و سازه ابنیه خشتی" تحلیل شود؛ و "راهبردهای اجرایی جهت ساخت ابنیه خشـتی مقاوم در برابر زلزله" ارائه گردد.

تقویت ابنیه خشـتی با سـامنه دیوار با بلوک خشتی فشرده

تقویت ابنیه خشـتی در سـه حوزه اصلاح ساختار، سـازه بنا و افزایش مقاومت خشـت، امکان پذیر اسـت. اصلاح سـاختار با افزایش کیفیت مصالـح، افزایـش مقاومت اتصـال دیوارها در کنج ها، سـبک کردن ساختمان، محکم کردن تکیه گاه بنا برروی زمین و تقویت سازه ایجاد می گردد *(جهان آبادیان، ۱۳۸۴)*.

در سـاختمان های خشتی، دیوار نقش اساسی در رفتار لرزه ای سامانه سـازه ایفا می کند*(محمدی و علیزاده تقی آباد، ۱۳۸۷)*. در تقویت سـازه بنا، بارهای متمرکز بر دیوارها و یا بخشی از آن، (به عنوان مثال با استفاده از نعـل درگاه هـای بالای بازشـوها و یا با به کارگیـری صفحات زیر سـری برای توزیع بار)، به حداقل رسانده شود. دیوار بندی باید ساده و با شکست های معدود صورت گیرد *(لانت، ۱۳۸۲)*. برای افزایش مقاومت خشـت به روش مکانیکی، با افزایش فشـار و تراکم و بدون استفاده از تثبیـت کننده‌ها دانه‌های خاک خشـت را متراکم‌تر نمـوده و بلوکی با تراکم متوسـط و موئینگی مناسـب به وجود آورد. در روش فیزیکی با افزایـش تثبیت کننده خنثی مناسـب و با ایجاد شـبکه محدود کننده، حرکت خشت تقویت می گردد *(کی نژاد، ۱۳۸۴)*.

با توجه به راهکارهای تقویت ابنیه خشـتی و استانداردهای موجود در ایران، همچون آیین نامه ۲۸۰۰، مبحث هشـتم ضوابط ساخت مصالح بنایی و همچنین مطالعات موجود در حوزه تعیین خشت بهینه در مرمت ارگ بـم، زیگورات چغازنبیل اسـتانداردهای موجود خارجی متمرکز بر سـاخت بلوک خشتی تثبیت شده، شامل اسـتانداردهای جی. اتی. زد[1] در آلمان، موسسـه تحقیقاتی آرویل در هندوسـتان، موسسه تحقیقاتی کراتر در فرانسه، استاندارد واحد ساختمان در آمریکا، طرح بلوک خشتی فشـرده تثبیت شده با مشخصات زیر پیشـنهاد گردیده است *(خوشبخت بهرمانی، ۱۳۸۸)* (جدول۲).

جهت افزایش مقاومت کششی سامانه با بلوک خشتی فشرده، سازه‌ای خطی نیز مورد نیاز است. از این رو در درون بلوک های خشتی منافذی بـرای عبور میلگرد تعبیه شـده اسـت. این میلگردها بـه کمک مقدار محدودی سـیمان در جایگاه خـود درون حفره ها ثابت خواهند شـد. خاموت های موجود در فاصله بین بلوک‌های خشـتی سـبب جلوگیری از تغییر مکان میلگردهای قائم در مقابل نیروی زلزله خواهد شـد. ابعاد هسـته مرکزی این شـناژ، دو مکعب با قاعده ۵×۲۰ سانتی متر است. شـناژ افقی خشتی که با میلگرد و سـیمان تقویت شده است، همچون یک کلاف افقی دیوار را محافظت خواهد نمود. مقطع شناژ افقی خشتی به صورت U شـکل اسـت و سـطح میانی آن با بتن و میلگرد تقویت

جدول ۲. مشخصات خاک مورد استفاده در بلوک خاکی فشرده پیشنهادی بر مبنای شاخص های موسسه آروویل *(خوشبخت بهرمانی، ۱۳۸۸)*

مشخصات	مقدار	واحد	نشانه
مقاوت فشاری ۲۸ روزه خشک (+ ۲۵٪ پس از یک سال)	0.15 - 0.35	-	σ
مقاوت فشاری ۲۸ روزه خشک (پس از یک روز غوطه‌وری در آب)	1.10^{-5}	mm/sec	
مقاوت کششی ۲۸ روزه خشک	5 - 10	% weigh	-
مقاوت خمشی ۲۸ روزه خشک	~ 0.85	KJ/Kg	C
مقاوت برشی ۲۸ روزه خشک	0.46 - 0.81	W/mºC	σ
آب رفتگی (با رطوبت طبیعی)	5 - 10	%	m
ضریب انبساط	خوب	–	–
آماس پس از اشباع (پس از یک روز غوطه‌وری در آب)	ضعیف	–	–
نسبت پویسن	5 -10	MPa	σ d 28
نفوذ پذیری	2 - 3	MPa	σ w 28
میزان جذب آب	1 - 2	MPa	σ 28
دمای معین	1 - 2	MPa	ß 28
ضریب رسانایی	1 - 2	MPa	S 28
ضریب تعدیل	0.2 - 1	mm/m	-
مقاوت در برابر آتش	0.010-	mm/mºC	-
قابلیت اشتعال	0.5 - 1	mm/m	-

شکل ۲. برش عمودی و افقی شناژ خشتی فشرده تثبیت شده

روش تحقیق

شـده است. جهت سهولت ساخت و قالب زنی بلوک خشتی مقطع شناژ افقی به صورت دو بلوک خشـتی پشـت به پشـت یکدیگر است که با ملات ماسه سیمان به یکدیگر متصل شده اند *(خوشبخت بهرمانی، ۱۳۸۸)*. (شکل ۲)

بـه منظور ارزیابی میزان مقاومت بلوک خشـتی پیشـنهادی با سـایر روش های اجرای مرسـوم در برابر زلزله، شـبیه سازی رایانه ای از نه سـامانه دیوار با سامانه های خشـتی، مصالح بنایی با کلاف فولادی و خشـت بهینه شده با کلاف خشتی- بتنی با نرم افزار آباکیوس[۲] صورت

گرفت و میزان تغییر مکان و تنش فشـاری بر هر یک از آنها محاسـبه شـد. بررسی رفتار سازه های خشـتی یا بنایی، به دلیل شرایط خاص ناپیوسـتگی ها، رفتارهای غیر همسان، غیر همگن و غیر خطی آن ها بسیار پیچیده است، لذا انجام چنین بررسی لزوم استفاده از برنامه های تحلیل عددی جامع با قابلیت های بالا را ایجاب می نماید و سـپس با اسـتفاده از برنامه کامپیوتری آباکیوس نگارش شـش با بهره گیری از روش های اجزای محدود ، جهت تحلیل و طراحی سیستم های مهندسی پیشـنهاد گردید. این برنامه امتیازات ویژه‌ای نسبت به برنامه های مشابه به شرح زیر دارد.

– انواع تحلیل استاتیکی و دینامیکی

– علاوه بر تحلیل خطی این برنامه توانایی بالایی جهت انجام تحلیل های غیرخطی را نیز دارد به طوری که می توان هم مصالح و هم هندسه سازه را به صورت خطی و یا غیر خطی مدل سازی کرد.

– وجود عناصر مختلف در این برنامه شامل عناصر یک بعدی ، دو بعدی و سه بعدی با درجه آزادی های متفاوت از دیگر توانایی های برنامه است.

– اسـتفاده از زیرسازه‌ها، ارتعاشـات تصادفی، آکوستیک و بهینه سازی سازه‌ها، نیز از امتیازات ویژه این نرم افزار است.

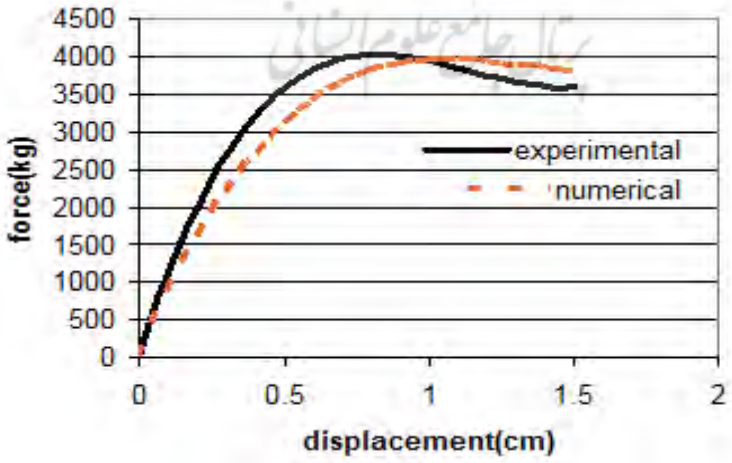
با توجـه آزمایش های صحت سـنجی نتایج عددی که در دانشـگاه مینهو توسط آقای دانیل ویتورینو الیویرا و با نظارت پرفسور" لورنزو" و پرفسور" رکا" انجام گرفته است، نتایج این مدلسازی واجد دقت مناسب نیز است (شکل ۳).

در مدل سـازی با توجه به مصالح خشـتی و رفتار پایه خاکی آن ها و همچنین شـرائط نرم افزار موجود و اطلاعات آزمایشگاهی، بلوک ها از مدل رفتاری دراکر پراگر اسـتفاده شـده اسـت. از آن جا که در معرفی منحنی تنش کرنش، نرم افزار قادر به مدلسـازی رفتار نزولی نمی باشد لذا انتهای منحنی باید به صورت افقی معرفی شـود. براساس اطلاعات آزمایشـگاهی و توانایی نرم افزار در حالتی ساده تر و به دلیل محدود بودن رفتار غیر خطی در خشت در مدل سازی، از مدل الاستیک ساده نیز استفاده شده است *(خوشبخت بهرمانی، ۱۳۸۸)*.

برای تحلیل اجزاء محدود مدل و اختصاص آن به دیوار از عنصر ۶وجهی مکعب شـکل که واجد ۸ گره در گوشـه ها می باشد استفاده شد. عنصر مورد نظر دارای ۳ درجه آزادی در امتداد محورهای اصلی ۱و۲و۳ اسـت، که قابلیت پذیرش انواع بارهای جرمی انتقالی و دورانی وهمچنین بارهای سطحی و خطی با شدت های مختلف را دارا می باشد.

مقایسه سامانه پیشنهادی با سایر سامانه های موجود

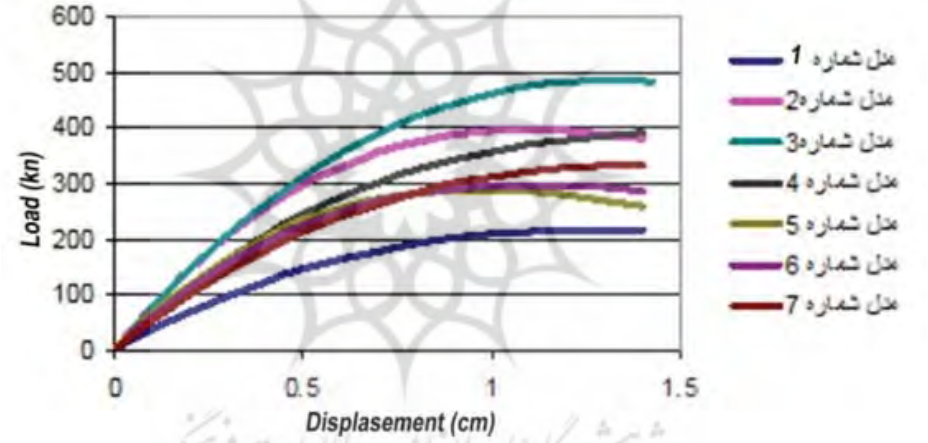
دیوار به عنوان مهمترین بخش بنای خشتی باید مقاومت لازم در برابر زلزله را داشـته باشد. مدل سازی سازه دیوار خشتی پیشنهادی باید در صـد قابل قبولی از نظر مقاومـت و کاهش هزینه در مقابل دیوارهای خشـتی معمول و دیوارهای با مصالح بنایی داشـته باشـد (جدول ۳). نتایج مدل سـازی نشان داد، دیوار خشتی گسیختگی به صورت ترک خوردگی قطری دارد و در بخش پاشـنه تخریب شـده اسـت در نتیجه اسـتفاده از دیوار خشـتی قطعا نیازمند بهسازی اسـت. در روش های معمول بهسـازی نیز نتایج نشان داد بهترین روش استفاده از صفحات اف . آر. پـی. به صورت قایم و افقی اسـت که سـبب بالارفتن هزینه اجـرا می گـردد در صورتی که باز هـم قابل رقابت با دیـوار آجری با کلاف فولادی نیست. با روشی نسبتا مشابه توسط سایر محققین که با آزمایش نمونه های سـاخته شده در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفته



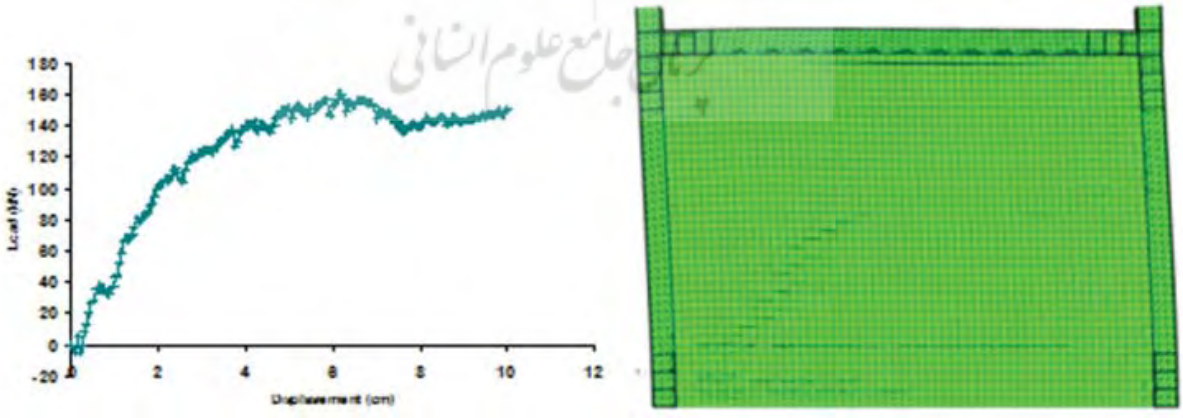
شکل ۳. نمودار نیرو– تغییر مکان مدل عددی و آزمایشگاهی

جدول۳. مشخصات مدل های مورد مقایسه

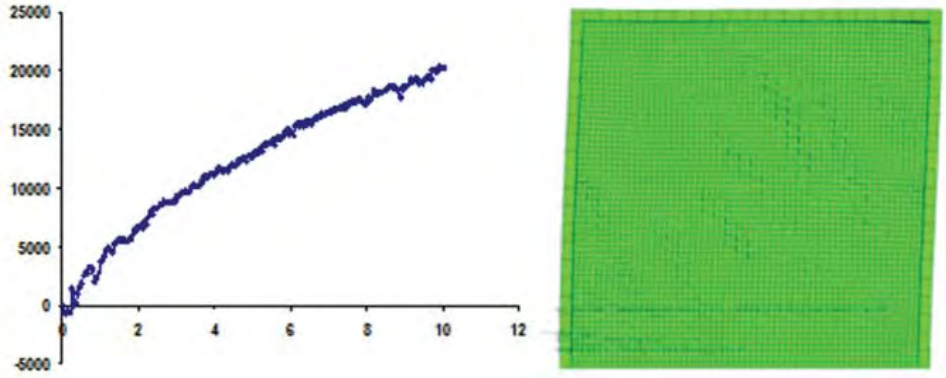
خشتی معمولی ۱	مدل کنترلی و فاقد سیستم بهسازی
خشتی معمولی ۲	دو ردیف الیاف در ابتدا وانتها بصورت قائم در هر دوسمت
خشتی معمولی ۳	سه ردیف الیاف در ابتدا وانتها و وسط بصورت قایم در هر دوسمت
خشتی معمولی ۴	استفاده از الیاف بصورت ضربدری در دو سمت دیوار
خشتی معمولی ۵	دو ردیف الیاف در ابتدا وانتها بصورت افقی در هر دوسمت
خشتی معمولی ۶	سه ردیف الیاف در ابتدا انتها و وسط بصورت افقی در هر دوسمت
خشتی معمولی ۷	استفاده از توری
بنایی	کلاف فولادی
خشتی فشرده تثبیت شده	کلاف خشتی- بتنی



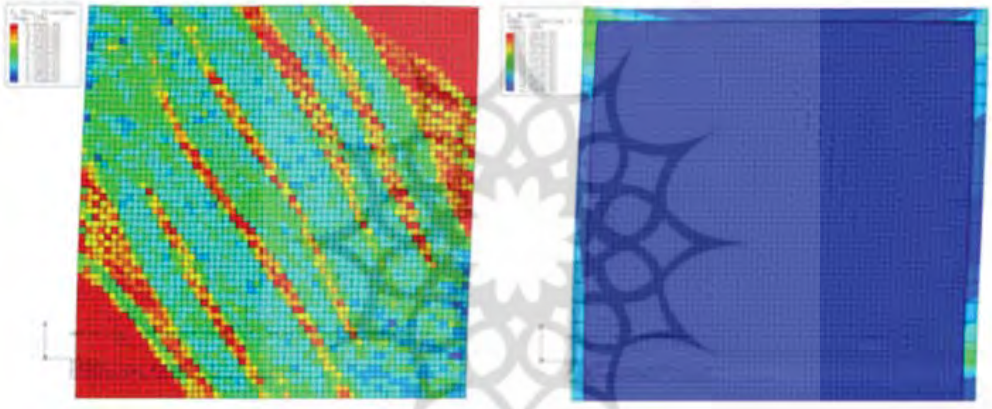
شکل ۴. نمودار نیرو-تغییر مکان همزمان مدل دیوار خشتی ۱ تا ۷



شکل ۵. نمودار نیرو- تغییر مکان و مدل اجزا محدود دیوار بنایی با کلاف فولادی بعد از تحلیل



شکل۶. نمودار نیرو- غییر مکان دیوار خشتی بهینه و مدل اجزا محدود دیوار بعد از تحلیل



شکل ۷. توزیع تنش فشاری بر روی دیوار خشتی بهینه

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

است، این موضوع تایید شده است *(عدل پرور ۱۳۸۶)* (شکل ۴).

همانطور که انتظار مـی رود در چنین دیوار بنایی به علت وجود کلاف فـولادی تـا حد زیادی رفتار سـامانه تحـت بار جانبی بهبـود یافته و میزان تغییر مکان دیوار بالاتر و مقاومت جانبی بیشـتری نیز نسبت به دیوارهای خشـتی دارد (شـکل ۵). این نوع دیوار اگرچه از لحاظ میزان مقاومـت و میزان تغییر مکان رفتار مناسـبی دارد، ولی به علت تفاوت فاحش سـختی دیوار و کلاف فولادی عملا دو قسـمت سـامانه یعنی بخش فـولادی و بخش بنایی به صورت کاملا جـدا رفتار می کنند و امـکان رفتار هم زمان این دو بخش وجود ندارد و دیوار صرفا نقش پر کننده بین کلاف را ایفا می کند و این مطلب موجب می شـود طراحان سختی دیوار را در محاسبات لحاظ نکنند و این موضوع خود ضعف های متعـددی در طراحی و رفتار دیوار بنایـی در برابر بار های جانبی ایجاد می کند (شکل ۶ و۷).

نتیجه گیری

در غالب نمونه‌های باقی مانده از معماری گذشته ایران که در مقیاس بناهای عمومی است، به کمک تبدیل نیروهای کششی به فشاری این ضعف برطرف شده است. در صورتی که خشت جهت افزایش مقاومت کششـی تقویت گردد، امکان اسـتفاده عمومی آن بنا به مشـخصات زلزله‌خیـزی منطقه می‌تواند مورد اسـتفاده قرار گیرد. تقویت و تزریق تثبیـت کننده در نقاطی که بیشـترین بار نیروی کششـی را متحمل می‌شـود، سبب افزایش مقاومت آن در برابر نیروی زلزله می‌گردد. لذا همنشینی خشت و سیمان و میلگرد، با استفاده از سامانه دیوار خشتی تثبیت شده پیشنهاد می گردد.

از ایـن جهت با توجه مشـخصات خاک موجـود برش‌های مختلف دیوار در سطوح مختلف طراحی گردیده و جهت تثبیت ایده و آزمایش

کارایی سامانه دیوار نمونه با بلوک خشتی فشرده تثبیت شده با سامانه های مشابه با بلوک خشتی ساده و آجری با کلاف قائم و عمودی مدل سازی رایانه‌ای و مقایسه گردید. این سامانه اگرچه از لحاظ مقاومت و میزان تغییر مکان در مجموع امتیازات کمتری از دیوار بنایی کسب نمود، ولی منطبق بر آیین نامه های موجود است. سامانه پیشنهادی این امکان را به طراحان می دهد که سختی معدلی برای مجموعه دیوار و کلاف در نظر بگیرد که موجب طراحی دقیق تر و عدم نیاز به استفاده از ضرایب اطمینان بالا می شود و سبب کاهش هزینه کلی سازه نیز می گرد، همچنین این سامانه از حد یک سامانه سنتی خارج و امکان طراحی ساختمان های چند طبقه را فراهم می نماید.

پی نوشت ها

1. GTZ
2.ABAQUS

فهرست مراجع

۱. اژدر, س. و مهرنهاد, ح. (۱۳۸۷). **"بررسی مقاوم سازی و بازسازی مساکن روستایی در ایران"**. همایش ملی مقاوم سازی ایران. دانشگاه یزد,سایت مرجع دانش(سیویلیکا).

۲. پارسا, ر., داودی, ا. و علاقه بندیان, ر. (۱۳۸۶). **"مقایسه ضوابط سازه های بنایی آیین نامه های افغانستان و ۲۸۰۰ سومین کنگره ملی مهندسی عمران"**. دانشگاه تبریز, سایت مرجع دانش (سیویلیکا).

۳. تابش‌پور, م. (۱۳۸۶). **"بررسی ضوابط ساده طراحی ساختمانهای بنایی (آجری، خشتی و سنگی) پنجمین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله"**. تهران - پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله,سایت مرجع دانش(سیویلیکا).

۴. تابش‌پور, م. و فرهنگ‌فر, ح. (۱۳۸۴). **"مقاوم سازه‌ای لرزه‌ای سازه‌های بنایی خشتی"**.راه و ساختمان,۲۸.

۵. ثقفی, م. ج. (۱۳۸۵). **"آسیب شناسی ساختمان"**. هنرهای زیبا, ۲۶.

۶. جهان آبادیان, ه. (۱۳۸۴). **"مطالعه و شناخت ارگ بم و خانه میر (تاجر هندی) و طرح حفاظت، مرمت و احیاء هانه میر"**. در مختاری, ا. (Ed.) سالنامه گزارش فعالیت‌های مطالعاتی/ اجرایی پروژه نجات بخشی میراث فرهنگی بم. تهران, رسانه پرداز.

۷. خوشبخت بهرمانی, ش. (۱۳۸۸). **"معماری با خشت"**، راهبردهای ساخت ابنیه خشتی مقاوم در برابر زلزله. دانشکده معماری و شهرسازی. تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.

۸. دهقان بنادکی, آ., قناد, م., بخشی, ع. و لطفعلی پور, م. (۱۳۸۷). **"تحلیل عددی آسیب پذیری نوعی از ساختمانهای متداول خشتی - گلی ایران در برابر بارهای لرزه ای چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران"**. دانشگاه تهران, سایت مرجع دانش (سیویلیکا).

۹. رازانی, ر. (۱۳۸۴). **"نگاهی به تجربیات کشورهای زلزله خیز در مقاوم سازی ساختمانهای خشتی و آجری غیر مسلح و نکات مهم آئین نامه های ساختمانی اخیر نخستین همایش ملی استحکام بخشی ساختمانهای بنایی غیرمسلح و بناهای تاریخی"**.شهرداری شیراز,سایت مرجع دانش(سیویلیکا).

۱۰. رضاوندی, آ. و جناب زاده, ر. ش. (۱۳۸۲). **"مطالعه موردی یک ساختمان دو طبقه آجری با مقایسه آیین نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران وضوابط پیشنهادی سازمان UNIDO در خصوص استفاده از کلاف"**. ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران. دانشگاه صنعتی اصفهان, عمران, سایت مرجع دانش (سیویلیکا).

۱۱. سرلک, م., وثوقی فر , ح. و شاهانی, ع. (۱۳۸۵). **"ارزیابی کمی آسیب پذیری لرزه ای ساختمان های بنایی با نگاه به زلزله های اخیر"**. اولین همایش بین المللی مقاوم سازی لرزه ای. تهران سایت مرجع دانش(سیویلیکا).

۱۲. طارق, م. و ارشاد, ل. (۱۳۸۶). **"بررسی ضوابط ساختمانهای بنایی غیر مسلح در استاندارد ۲۸۰۰ پنجمین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله"**. تهران - پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله,سایت مرجع دانش (سیویلیکا).

۱۳. طبسی, م. (۱۳۸۴). **"ارائه ترکیب بهینه برای استحکام‌بخشی خشت‌های مصرفی در مرمت بناهای تاریخی کوه خواجه سیستان"**. هنرهای زیبا, ۲۳.

۱۴. عدل پرور, م., معتمد, ژ., جهانپور, ع. و درویش زاده, گ. (۱۳۸۶). **"یک روش کامل برای تقویت ساختمانهای خشتی ضد زلزله در ایران دومین کنفرانس ملی بهسازی و مقاوم سازی ایران"**. کرمان, سایت مرجع دانش(سیویلیکا).

۱۵. کی نژاد, ف. (۱۳۸۴). **"نتایج فعالیت‌های انجام گرفته بر روی خشت مناسب (معرفی خشت برگزیده)"**. تهران, پروژه نجات بخشی ارگ بم.

۱۶. لانت, ا. ج. (۱۳۸۲). **"خشت‌های تثبیت شده برای ساختمان"**. تهران, مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

۱۷. مجابی, س. م. (۱۳۸۴). **"ممنوعیت استفاده از خشت و آجر"**. تهران, راه و ساختمان.

۱۸. محمدی, ر. ا. و علیزاده تقی آباد, س. (۱۳۸۷). **"مقاوم سازی ساختمان های مصالح بنایی موجود با استفاده ازانواع میلگرد"**. دانشگاه یزد. سایت مرجع دانش (سیویلیکا).

19.Craterre Editions, (2005), **''Earth Architecture in Uganda: Pilot project in Bushennyi 2002-2004''**, Grenoble, France.

20.FACEY, W. ,(1998), **''Back to Earth: Adobe Building in Saudi Arabia''**, London, Tauris & Co Ltd.

21.HEATHCOTE, K. & MOOR, G. , (2002), **''Earth building in Australia - Durability research. Modern Earth building. Berlin**''.
22.LITTLE, B. & MORTON, T. , (2001), **''Building with Earth in Scotland: Innovative Design and Sustainability**'', Edinburgh, Department or Scottish Ministers.
23.MOQUIN, M. (2000), **''Adob. IN ELIZABETH, L. & ADAMS, C. (Eds.) Alternative Construction: Contemporary Natural Building Methods**''. America, John Wiley & Sons.
24.TORRELVA, B. M. & VILLA GARCIA, G. , (2002), **''Adobe in Peru: Tradition, Research and Future. Modern Earth Building 2002 International Conference and Fair**''. Berlin, Germany.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی