

مسکن و محیط روستا

فصلنامه علمی - پژوهشی

ناشر: بنیاد مسکن انقلاب اسلامی

شماره: ۱۳۸

سال: سی و یکم

فصل: تابستان

ISSN ۲۰۰۸-۴۹۹۴

تیراژ: ۱۵۰۰ نسخه

قیمت: ۲۰۰۰۰ ریال

این نشریه از سال ۱۳۵۹ چاپ و براساس ابلاغیه‌های شماره ۹۰/۳/۱۱/۹۷۶۵ مورخ ۹۰/۰۱/۲۹ و ۳/۲۶۲۹۳۹ مورخ ۱۳۹۰/۱۲/۱۶ (مرکز برنامه‌ریزی و سیاستگذاری پژوهشی) وزارت علوم تحقیقات و فناوری، در کمیسیون بررسی نشریات کشور حائز شرایط دریافت درجه علمی - پژوهشی گردیده است.

مقالات این فصلنامه در پایگاه‌های ذیل نمایه سازی می‌شود:

۱. پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (www.isc.gov.ir)

۲. مرکز منطقه‌ای اطلاع رسانی علوم و فن‌آوری (www.srlst.com)

۳. پایگاه اطلاعاتی علمی، جهاد دانشگاهی (www.sid.ir)

۴. پایگاه اطلاعات نشریات کشور (www.magiran.com)

مشاوران علمی این شماره:

شهرام پوردیهمی، روح اله رضایی، اکبر زرگر، شریف مطوف، خسرو موحد، مسعود انصاریان، ناهید صادقی پی، فرهاد آزرمی، شعله نوذری، شهریانو جلیلیان، محمدباقر کبیر صابر، مهدی زندیه، نیلوفر رضوی، امیرحسین گرکانی، مریم لاری، غریب فاضل نیا، غلامحسین عبدالله زاده، محمدرضا رضوانی، کوروس خوشخت، حسن تقوایی، میترا آزاد، غزال راهب، منصوره طاهراز.

نشانی: تهران - خیابان دکتر فاطمی - خیابان باباطاهر - کوچه رامین - شماره ۱۱ - ساختمان شماره ۲ بنیاد مسکن انقلاب

اسلامی - طبقه چهارم - دفتر فصلنامه مسکن و محیط روستا.

کد پستی: ۱۴۱۴۶۱۷۸۱۱

تلفکس: ۸۸۹۶۶۸۳۵

نشانی الکترونیک: Fasnameh@bonyadmaskan.com

<http://jhre.ir>

وبگاه:

اثر الیاف نخل خرما و آهک به عنوان تثبیت کننده طبیعی، بر خصوصیات مکانیکی خشت (در شرایط محیطی با ۳۵ درصد رطوبت)

علیرضا اسماعیلی * / متصور قلعه نوی **

تاریخ دریافت مقاله:

۱۳۹۰/۱۰/۲۳

تاریخ پذیرش مقاله:

۱۳۹۱/۰۲/۲۰

چکیده

در بسیاری از نقاط جهان، خشت به عنوان مصالح ساختمانی، در بافت‌های شهری و روستایی، کاربرد فراوان دارد. بنابراین مقاوم‌سازی سازه‌های خشتی بسیار ضروری به نظر می‌رسد که می‌بایست مورد بررسی قرار گیرد. استفاده از مصالح خشتی بومی به همراه تثبیت کننده‌های طبیعی می‌تواند اثرات بسیار مهمی را در شکوفایی این روند، از خود به نمایش بگذارد. با توجه به اینکه درصد زیادی از مساحت ایران را مناطق گرم و خشک و کویری تشکیل داده است موضوع حذف خشت و بناهای خشتی روش درست و مناسبی به نظر نمی‌رسد. امروزه راه حل‌های مناسبی برای استحکام بخشی بناهای خشتی ابداع شده است. با توجه به کمبود منابع انرژی در جهان، خشت می‌تواند برای بسیاری از مناطق مناسب باشد. خشت را می‌توان به سادگی و با قیمت ارزان تولید نمود. از معایب اصلی خشت خام، شکست یک دفعه آن پس از ورود نیروهای فشاری و خمشی است که در هنگام زلزله فرصت کافی، برای نجات جان ساکنین خانه‌های خشتی را فراهم نمی‌نماید. در حالی که با استفاده از مصالحی نظیر الیاف نخل خرما می‌توان گام‌های مؤثری را در این زمینه برداشت. آهک نیز می‌تواند زمان نرم‌شدگی در برابر آب را افزایش دهد. همچنین آهک باعث می‌شود تا در هنگام خشک شدن و انقباض خشت، ترک‌ها کاهش یابد. در این تحقیق، بیش از ۳۵۰ نمونه مکعبی خشتی با درصد‌های مختلفی از آهک و الیاف نخل خرما جهت تقویت خشت تهیه شد. این نمونه‌ها که حاوی خاک شهرستان زاهدان بودند در شرایط محیطی با رطوبت ۳۵ درصد، عمل آوری و در معرض بارهای فشاری و خمشی قرار گرفتند؛ میزان نرم‌شدگی در آب، زمان نفوذ آب به تمام حجم نمونه خشتی، درصد رطوبت بهینه و وزن واحد حجم خشک نمونه‌ها نیز ثبت شد. پس از پایان آزمایشات مذکور و بررسی نتایج مربوط به مشخصات مکانیکی نمونه‌ها، نمودارهای مقاومتی آن‌ها ترسیم و در نهایت بهینه‌ترین نمونه خشتی تثبیت شده با مصالح طبیعی (بر حسب درصد‌های موجود رس و سیلت، ماسه، الیاف نخل خرما و آهک)، انتخاب گردید. نتایج حاصل نشان داد که با وجود ۱ درصد الیاف نخل خرما و ۱۵ درصد آهک، برای شرایط محیطی ۳۵ درصد رطوبت، بهترین حالت ممکن برای نمونه‌های خشتی تثبیت شده با آهک و الیاف نخل خرما به وجود می‌آید.

واژگان کلیدی: خشت، الیاف نخل خرما، آهک، مشخصات مکانیکی، شرایط رطوبت محیطی.

* کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان. as.torab@yahoo.com

** استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد.

مقدمه

طرح مسئله

آیین نامه ۲۸۰۰ ایران استفاده از خشت و گل را به علت ضعف مصالح و مقاومت اندک آن‌ها در برابر نیروهای ناشی از زلزله، منع کرده و تصریح می‌نماید که باید از احداث بنا با این مصالح خودداری نمود ولی در ادامه بیان می‌دارد که چنانچه در نواحی دور دست که فراهم آوردن مصالح مقاوم، گران تمام شده و ضرورتاً باید این گونه ساختمان‌ها ساخته شوند، باید مطابق دستور العمل های فنی ویژه‌ای و با به‌کارگیری عناصر مقاوم چوبی، فلزی، بتنی و یا ترکیبی از آن‌ها، طوری تقویت شوند که در برابر زمین لرزه به‌طور نسبی حائز ایمنی گردند. (منابع شماره های ۱ و ۲)

موضوع حذف خشت و بناهای خشتی به‌عنوان ابزار مناسب جهت زندگی در محیط‌های گرم و خشک، برخلاف آنچه که مهندسین سازه با آن موافق هستند، روش درست و مناسبی به نظر نمی‌آید چون ما در دنیای زندگی می‌کنیم که روز به روز در حال توسعه و پیشرفت می‌باشد و می‌بایست امروزه استحکام بخشی و ساخت بناهای خشتی به روش‌های نوین عملیاتی شود. در اینجا برای روشن شدن موضوع، به دو نوع نگرش متفاوت درباره خشت و نقش آن به‌عنوان مصالح ساختمانی، اشاره می‌گردد:

۱. دیدگاه فنی و ساختمانی: در این دیدگاه خشت، یک ماده ضعیف ساختمانی می‌باشد و توصیه شده است در حد امکان از احداث بناهای خشتی، اجتناب گردد.
۲. دیدگاه تاریخی و سنتی: در این نگرش، خشت به‌عنوان یک کالای فرهنگی معرفی می‌شود و هر آنچه که مربوط به سرگذشت خشت در بر پایی بناهای کهن تاریخی می‌باشد (و در آیه ۲۸ سوره مبارکه قصص نیز

به آن اشاره شده است) ضرورت پیدا می‌نماید. در واقع خشت در این رویکرد، نه تنها به‌عنوان یک مصالح ساختمانی بلکه به‌عنوان یک شی تاریخی، بیانگر هویت و فرهنگ مردم آن منطقه می‌باشد.

با توجه به بیان این دو رویکرد تقریباً متناقض و متضاد، مناسب ترین و مؤثرترین اقدامی که توسط جامعه مهندسین ایرانی می‌تواند در حوزه خشت، عملی گردد، اتخاذ یک رویکرد دو جانبه است یعنی اصلاح دیدگاه اول مبتنی بر احیای دیدگاه دوم؛ با این اقدام جامع می‌توان، با تقویت بنیان خشت و بنای خشتی از لحاظ سازه‌ای، از حذف خشت از چرخه تحقیقات مهندسی، جلوگیری و شرایط لازم برای اسکان مردم در منازل خشتی ایمن را مهیا نمود.

پیشینه

با توجه به پیشرفت های علمی گسترده در زمینه‌های مختلف مهندسی و نظر به کمبود منابع انرژی در جهان، کشورهای پیشرفته صنعتی بر آن شده‌اند تا با نگاه متمرکز به کاهش مصرف انرژی و بهینه نمودن آن، کلیه مطالعات خود را مجدداً برنامه‌ریزی و طرح نمایند؛ در حالی که در کشور ما، پس از بروز این همه تغییرات و پیشرفت در دنیا، هنوز موضوع ساخت و مقاوم سازی خانه‌های خشتی، در فراموشی محض به سر می‌برد. نتیجه این خلاء های پژوهشی، وارد شدن خسارات جبران ناپذیر به انسان های کم درآمد جامعه، در مواقع رخداد زلزله می‌باشد. نکته قابل تأمل اینجاست که پس از وقوع زلزله بم، به خاطر احیای اثر تاریخی ارگ قدیم، اقدامات در حوزه مقاوم سازی خشت و بناهای خشتی در ایران، پس از دوران پهلوی اول، مجدداً جان تازه‌ای به خود گرفته است؛ اما در دنیا درباره بررسی خصوصیات مکانیکی خشت تثبیت شده با مصالح مختلف طبیعی و مصنوعی، اقدامات فراوانی صورت پذیرفته است که برخی از نکات

- با در نظر گرفتن پارامترهای مؤثری همچون کنترل انقباض خشک در طرح اختلاط نرمال خشت، محدوده میزان رس مصرفی بین ۱۳ تا ۱۷ درصد به دست آمده است. (منبع شماره ۸)

۶. امولسیون قیر را می توان برای عدم جذب آب توسط الیاف درون خشت استفاده نمود.

- خرده سنگ های پای بازالتی، در کنار خاک رس و دیگر الیاف، افزایش دهنده عایق صوتی خشت می باشند. (منبع شماره ۹)

۷. دیوار های ساخته شده با خشت های تثبیت شده آهکی، که توسط دستگاه های پرس ساده Cinva Ram تولید شده اند، پس از یکسال نگهداری در شرایط جوی ناحیه کوماسی کشور غنا، مقاومت فرسایشی بسیار خوبی را نسبت به دیوارهای خشتی معمولی از خود به جای گذاشتند. (منبع شماره ۸)

۸. یکی از روش های مطلوب در بررسی مقاومت لرزه ای سازه های خشتی قبل از زلزله، استفاده از میز لرزان برای وارد نمودن ضربه و ارتعاش به نمونه مدل شده، می باشد.

طرح مسئله: مشخصات خشت و مؤلفه های آن

تعریف خشت: خشت (خشت خام)، گل ورز داده شده ای است که سپس شکل گرفته و خشک شده است. خشت در هزاره چهارم قبل از میلاد به صورت دست ساز و معمولاً با شکلهایی نامنظم مانند سیگار برگ تهیه می شده است.

مزایای خشت: تولید آسان و ارزان، دارا بودن خاصیت آکوستیک، قابل بازگشت به طبیعت.

معایب خشت: وزن زیاد، کمی مقاومت خشک و تر، ضعف در برابر آب، انقباض خشک، حساسیت نسبت به میزان تراکم حین ساخت و رطوبت اولیه، کم دوام در حمل و نقل و ضعف ناشی از ناهمگونی در ابعاد.

ذیل جزو نتایج پژوهش های مهندسی اخیر در حوزه خشت می باشند:

۱. افزودن ماسه درشت در خشت، حداکثر تا ۵۰ درصد توصیه شده است.

- با افزودن الیاف به خشت، چگالی آن کاهش اما آب مورد نیاز برای ساخت آن افزایش می یابد.

- نرخ انقباض، با افزایش خاک رس و آب، زیاد اما با افزایش الیاف، کاهش می یابد.

- خشت تقویت شده با الیاف، باعث کاهش نسبی وزن سازه می شود.

- هر چه روند عمل آوری خشت کندتر صورت پذیرد، میزان ترک در خشت نیز کمتر می گردد. (منبع شماره ۳)

۲. افزایش عایق حرارتی خشت، با افزایش الیاف و کاهش ماسه، اتفاق خواهد افتاد.

- از آنجا که در فصول گرم سال، از لحاظ سازه ای، خنک نگه داشتن خانه های دارای سقف های گنبدی (Dome shap roof) نسبت به خانه هایی که دارای سقف مسطح (roof Flat) می باشند، آسان تر صورت می پذیرد، بایستی موضوع مقاومت خمشی نمونه های خشتی، که در گنبدها و یا در محل های نعل درگاهی و ... استفاده می شوند مورد توجه ویژه قرار گیرند. (منابع شماره های ۴ و ۵)

۳. در استاندارد ترکیه، حداقل مقاومت فشاری متوسط بلوک های خشتی $981 \text{ KP} (10 \text{ kg/cm}^2)$ می باشد، و هیچ بلوکی از سه بلوک مورد آزمایش، نبایست مقاومتش کمتر از $784 \text{ KP} (8 \text{ kg/cm}^2)$ باشد. (منبع شماره ۶)

۴. مقاومت فشاری خشت باید حداقل (12 kg/cm^2) باشد. (منبع شماره ۷)

۵. مقدار درصد الیاف افزوده شده به نمونه های خشتی، حداکثر بایستی تا ۰/۵ درصد وزنی آن ها، باشد.

انواع خشت: خشت خام و خشت پخته

شکل خشت: خشت ها معمولاً به اشکال مکعب مستطیلی ساخته می شوند. حجم معمول آن ها $cm^3 (20 \times 20 \times 5)$ می باشد. نصف یک خشت را یک زاو و یا همان آجر گویند. یک چهارم یک خشت را نیز یک نیمه می نامند. (منابع شماره ۷ و ۱۰)

آسیب شناسی

نتایج حاصل از برخی بررسی های میدانی نشان داده است که عوامل ذیل را می توان در ردیف موضوعات مرتبط با آسیب شناسی خشت قلمداد نمود:

۱. نرم شدگی در آب: این حالت با ناتوان شدن خشت بر اثر نفوذ آب، رخ می دهد.

۲. جمع شدگی و یا انقباض (Shrinkage): این خاصیت که ناشی از فرآیند خشک شدن خشت می باشد معمولاً در خشت های معمولی (همراه با ترک)، به وقوع می پیوندد.

۳. آب شستگی خشت: این عارضه که معمولاً در پای دیوارها رخ می دهد، ناشی از وجود بافت متخلخل در خشت خصوصاً در سطح بیرونی آن و همچنین ناشی از ضربات وارده مکانیکی توسط رگبار و باران می باشد.

۴. پوسته شدن و پودره شدن: این رخداد ناشی از پدیده مکث رطوبت در خشت می باشد.

۵. ترک خوردن: این حالت با تکرار تناوبی "تر و خشک شدن" و یا نوسان زیاد دمای اطراف، همراه با تغییر میزان رطوبت رخ می دهد.

۶. از هم پاشیدگی: این پدیده به علت نوسانات حرارت در طی شبانه روز رخ می دهد که عموماً نیز در نواحی سایه گیر بنا مشاهده می شود.

۷. شوره زنی: این مورد ناشی از وجود نمک های محلول در ساختار خشت می باشد که معمولاً زمان قرارگیری خشت در مجاورت رطوبت، محقق می گردد.

۸. خورده شدگی: این پدیده با نفوذ موریانه در نمونه های خشتی الیاف دار (خصوصاً نمونه های دارای الیاف کاه) بروز می یابد.

مصالح خشتی طرح

۱. خاک (Earth or Soil)

برای انتخاب خاک برتر برای خشت سازی، نیاز به شناسایی خاک های منطقه مورد مطالعه (شهرستان زاهدان) بود که پس از بررسی های فراوان و کسب اطلاعات لازم از متخصصین امر، در نهایت، معدن خاک محدوده فرودگاه این شهرستان به عنوان بهترین منبع خاکی جهت ساخت نمونه های خشتی طرح، انتخاب گردید.

چگالی خاک	حد روانی (%)	نشانه خمیری	نوع دانه بندی U.S.C.S	رس (%)	سیلت (%)	ماسه ریز (%)
۲/۶۶	۲۰	-	ML	۱۹	۴۷/۹۵	۳۲
				۸۵		۲

۲. ماسه (Sand)

برای ماسه استاندارد مورد استفاده در نمونه های خشتی، از مصالح شنی موجود در شهرک صنعتی کامبوزیا، مربوط به منطقه شیر آباد زاهدان، استفاده گردید.

نوع دانه بندی ماسه (U.S.C.S)
ML

۳. آهک (Lime)

برای آهک طرح نیز از آهک درجه یک صادراتی (تولید کارخانه سیمان مشهد) استفاده گردید. در گزارش مربوط به آنالیز شیمیایی آهک درجه یک صادراتی کارخانه سیمان مشهد که توسط آزمایشگاه تخصصی آن کارخانه ارائه شد ریز درصد ترکیبات موجود در آهک، در تصویر ذیل ثبت گردیده است.

ت ۱. مشخصات شیمیایی آهک درجه یک
(منبع: آزمایشگاه تخصصی کارخانه سیمان مشهد)

ت ۲. خردکن برقی، کارگاه ارگ قدیم بم (نگارنده)



Chemical composition of Export Lime (grade 1)	
Chemical properties	Content (%)
SiO ₂	۰/۴
Al ₂ O ₃	۰/۳۳
Fe ₂ O ₃	۰/۲۸
MgO	۳/۲۶
CaO	۹۵/۲۳
Na ₂ O	---
K ₂ O	---
SO ₃	---
L.O.I	۰/۵
Total	۱۰۰

۴. الیاف نخل خرما (سیس)

تحقیقات نسبتاً وسیعی در دنیا در رابطه با اثر الیاف گیاهی مختلف از جمله الیاف نارگیل، تفاله نیشکر و خرده چوب و ... بر روی خشت صورت گرفته است، لیکن گزارشی علمی و مبسوط در رابطه با تأثیر الیاف نخل خرما در کنار آهک بر خصوصیات مکانیکی خشت هنوز ارائه نگردیده است. (منبع شماره ۱۱)

یکی از نکات مهم در این بخش، مقاومت بسیار زیاد الیاف نخل خرماست که در برابر نفوذ و خوردگی موریانه از خود نشان می‌دهد.

فرآیند آماده سازی الیاف، برای استفاده در خشت:

الیاف اولیه از نخل جدا شده و پس از گردگیری لبه‌های ضخیم آن‌ها جدا می‌شود. سپس مقدار الیاف باقی مانده، توسط یک قیچی مخصوص به قسمت‌های کوچکتر تقسیم می‌گردد.

این ورقه‌های الیافی بریده شده را که بسیار نرم تر از لایه‌های ضخیم مجاور خود می‌باشند، برای خرد و رشته رشته شدن، به درون خردکن ریخته می‌شوند. ماشین خردکن توسط متصدی مربوطه روشن و شروع به کار می‌کند. این وسیله برقی از لحاظ عملکرد شبیه یک چرخ گوشت معمولی عمل می‌کند؛ یعنی پس از گذشت چند دقیقه از شروع کار ماشین، الیاف بهم تنیده قبلی تبدیل به الیاف جدا شده و رشته‌ای می‌شوند که برای استفاده در خشت کاملاً مهیا گشته‌اند. اگر چه دستگاه مذکور از لحاظ کارایی، ساده به نظر می‌رسد اما در واقع، سیستمی است که می‌تواند با کمک یک کارگر ساده، از الیاف معمولی، مصالحی برای تثبیت خشت و خانه‌های خشتی تولید نماید.

آب: به علت عدم وجود آب مناسب و استاندارد برای استفاده در پروژه‌های ساختمانی در شهرستان زاهدان، از آب انتقالی چاه نیمه سیستان به زاهدان (آب شرب فعلی زاهدان) استفاده شد.

مراحل اجرایی و آزمایشگاهی طرح

۱. ساخت قالب‌های خشت زنی و نمونه‌های خشتی بر اساس ابعاد و استانداردهای نمونه‌های فشاری و خمشی خشتی: ابعاد قالب‌های نمونه فشاری و خمشی

به ترتیب (۵×۵×۵)، (۴×۴×۱۶) سانتی متر مکعب انتخاب شد. (منبع شماره ۶)

۲. سنباده زنی سطوح خست‌های عمل آوری شده قبل از اعمال نیروهای فشاری
۳. شرح کلیه آزمایشات انجام شده طرح بر روی نمونه‌های خشتی

مقاومت فشاری: مقاومت فشاری نمونه‌های خشتی، در دو مقطع ۲۸ و ۵۶ روزگی، تحت شرایط فشاری یکسان با سرعت ۴ mm/s آزمایش و ثبت شد. نتایج نهایی مقاومت فشاری هر طرح اختلاط، از روی معدل مقاومت فشاری سه نمونه، به دست آمد.

مقاومت خمشی: مقاومت خمشی نمونه‌های خشتی نیز در دو مقطع ۲۸ و ۵۶ روزگی بررسی شد. مقاومت خمشی کلیه نمونه‌های خشتی با رعایت دهانه بار گذاری ۱۰۰ میلی متر، با سرعت اعمال بار ۴ mm/s اندازه‌گیری گردید.

وزن واحد حجم خشک نمونه‌های خشتی: وزن واحد حجم خشک نمونه‌های خشتی، در روز هفتم تعیین گردید. بدین صورت که پس از گذشت ۷ روز از عمر نمونه‌های مکعبی (۵×۵×۵) سانتی متر مکعبی، نمونه‌ها در دستگاه oven با شرایط دمایی ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۴ ساعت نگهداری شدند. سپس وزن کشی لازم صورت گرفت.

نرم شدگی در آب (softening in water test):

یکی از آزمایشات مهم در حوزه مقاومت خست، آزمون مقاومت نرم شدگی در برابر آب می‌باشد. تعیین حداقل میزان نرم شدگی در آب بر روی نمونه‌های خشتی (۵×۵×۵) سانتی متر مکعبی دارای عمر ۲۸ روزه (که در

فضای باز و دور از آفتاب نگهداری می‌شدند) صورت پذیرفت. ظرف مربوط به این آزمایش، به اندازه نصف ارتفاع نمونه خشتی (۲/۵ cm) از آب پر شد. زمان سپری شده از لحظه قرارگیری نمونه در آب، تا لحظه نرم شدگی، به عنوان زمان نرم شدگی ثبت می‌گردید. به عبارتی زمانی را که نمونه، به خاطر نفوذ آب، دیگر کاملاً نرم و ناتوان می‌شد و یا در واقع به خاطر به اصطلاح «آب شدن نمونه»، دیگر امکان برداشتنش از درون ظرف آب نبود، تحت عنوان زمان نرم شدگی پذیرفته و ثبت می‌گردید.

با توجه به اینکه برخی از نمونه‌های خیس شده در ظرف آب پس از گذشت حتی یک شبانه روز (۱۴۴۰ دقیقه) همچنان در برابر نفوذ آب مقاومت می‌کردند، ولی برعکس آن‌ها، خیلی از نمونه‌ها در زمان کمتر از ۱۴۴۰ دقیقه در ظرف آب، نرم شده و مقاومت خود را از دست می‌دادند به همین علت، (برای مقایسه نتایج نرم شدگی در آب و ترسیم نمودارهای مربوط به آن‌ها) عدد ۱۴۴۰ (دقیقه) به عنوان حداکثر بازه زمانی نرم شدگی، انتخاب گردید.

اما برای تعدادی از نمونه‌ها، که فقط درصد کمی از حجم شان در آب نرم می‌گردید و در واقع نمونه، مقاومت اصلی خود را همچنان حفظ می‌نمود با توجه به میزان ریزش و در نظر گرفتن عدد ۱۴۴۰ برای یک نمونه کاملاً سالم و ریزش نکرده، نرم شدگی این نوع نمونه‌ها نیز به صورت مقایسه‌ای ثبت می‌شد؛ به عبارتی برای نمونه‌های دارای ریزش جزئی، سلاک نرم شدگی، همان درصد ریزش مصالح نسبت به کل حجم نمونه بود.

با در نظر گرفتن همه حالت‌های فوق، زمان نرم شدگی (متناسب با نوع مقاومت نمونه در برابر نفوذ آب) اندازه‌گیری و ثبت می‌شد.

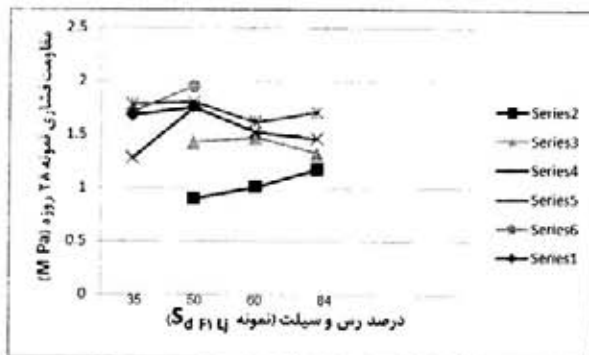
تجزیه و تحلیل و ترسیم نمودارهای طرح

نمودارهای ذیل چگونگی عملکرد خشت‌های تثبیت شده با «۱٪ الیاف نخل خرما، و درصدهای متفاوت آهک» را در حالت S_d (با رنگ‌بندی‌های ذیل) نمایش می‌دهند:

- خطوط با رنگ قرمز نشانگر عملکرد خشت‌های تثبیت شده با الیاف و ۱٪ درصد آهک: serie s_2
- خطوط با رنگ سبز نشانگر عملکرد خشت‌های تثبیت شده با الیاف و ۳٪ درصد آهک: serie s_3
- خطوط با رنگ بنفش نشانگر عملکرد خشت‌های تثبیت شده با الیاف و ۷٪ درصد آهک: serie s_4
- خطوط با رنگ آبی کم نشانگر عملکرد خشت‌های تثبیت شده با الیاف و ۱۰٪ درصد آهک: serie s_5
- خطوط با رنگ نارنجی نشانگر عملکرد خشت‌های تثبیت شده با الیاف و ۱۵٪ درصد آهک: serie s_6
- خطوط با رنگ آبی تیره نشانگر عملکرد خشت‌های تثبیت شده با الیاف و ۲۰٪ درصد آهک: serie s_1

نمودارهای نهایی S_d مربوط به خشت‌های الیاف‌دار و آهک دار با کد اختلاط ($S_d FIL_j$):
($j = ۱, ۲, ۳, ۴, ۵, ۶$)

۳. نتایج مقاومت فشاری (به‌عنوان مهم‌ترین نتایج آزمایشگاهی برای انتخاب خشت برتر) برای خشتی‌های با کد اختلاط ($S_d FIL_j$)



نتایج مربوط به مقاومت فشاری، خمشی، نرم شدگی در آب و زمان نفوذ آب به تمام حجم نمونه‌های خشتی در تصاویر ۳ و ۴ و ۵ و ۶، برای انتخاب بهترین نمونه تثبیت شده با آهک و الیاف نخل خرما آورده شده است. همچنین درصد رطوبت موجود در نمونه‌های تازه ساخته شده (رطوبت بهینه) و وزن واحد حجم خشک آن‌ها در جداول بعدی (بر حسب درصد مصالح مصرفی موجود در خشت)، همراه با کد اختصاری تعریف شده طرح اختلاط، ثبت شده است.

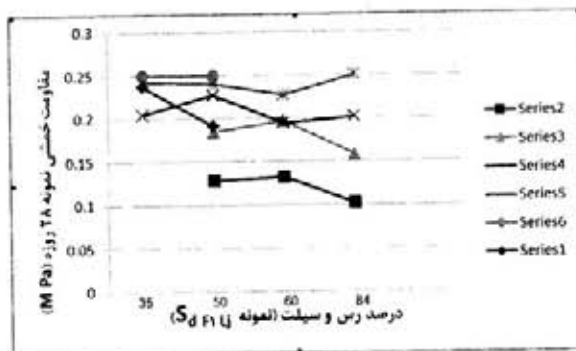
علائم اختصاری انتخاب شده و تعاریف مربوط برای طرح اختلاط نمونه‌های خشتی

- Sample : S
- dry : d
- Fibers : F
- Lime : L
- Clay & Silt : C
- dry samples : S_d
- Earth (or Soil) : E
- i : درصد الیاف (۰ و ۱)
- j : درصد آهک (۲۰ و ۵ و ۱۰ و ۱۵ و ۳ و ۷ و ۱۰)

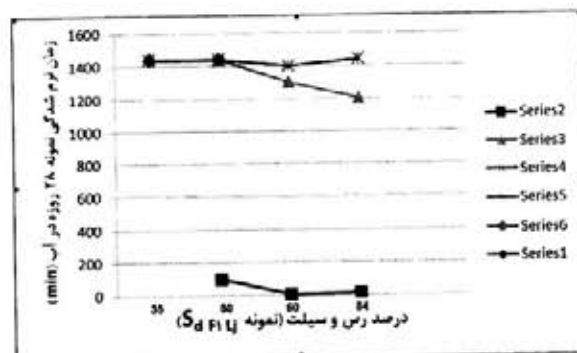
مثال برای کد طرح اختلاط: منظور از « $S_d F0 L0 C 60$ » همان نمونه خشتی (Sample) نگهداری شده در فضای تقریباً خشک (۳۵ درصد رطوبت = dry) است که فاقد الیاف نخل خرما (Fibers = ۰٪)، فاقد آهک (۰٪) = Lime) و دارای ۶۰٪ رس و سیلت (۶۰٪ = Clay & Silt) می‌باشد که با جمع درصدهای فوق و کسر آن از عدد ۱۰۰، مقدار ماسه استاندارد موجود در آن نمونه نیز (Sand = ۴۰٪) معلوم می‌شود.

نمودارهای نهایی انتخاب شده، مربوط به کلیه ترکیبات خشتی دارای تثبیت‌کننده‌های طبیعی الیاف نخل خرما و آهک

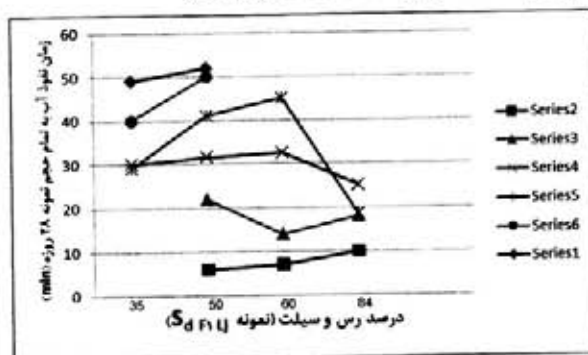
ت. ۴. نتایج مقاومت خمشی (به عنوان دومین مؤلفه انتخاب خشت برتر) برای خشت های با کد اختلاط ($S_d F1 L1$)



ت. ۵. نتایج مقاومت نرم شدگی در آب (به عنوان سومین مؤلفه انتخاب خشت برتر) برای خشت های با کد اختلاط ($S_d F1 L1$)



ت. ۶. نتایج زمان نفوذ آب به کل نمونه های خشتی (به عنوان چهارمین مؤلفه انتخاب خشت برتر) برای خشت های با کد اختلاط ($S_d F1 L1$)



نتایج مربوط به وزن واحد حجم خشک نمونه و درصد رطوبت بهینه نمونه های خشتی تثبیت شده با ۱۵٪ آهک و ۱٪ الیاف نخل خرما و مقایسه آن ها با نمونه های معمولی و مرسوم

نتایج مربوط به درصد رطوبت موجود در نمونه های تازه ساخته شده (رطوبت بهینه) و همچنین وزن واحد حجم خشک نمونه در روز هفتم، در جداول ذیل، بر حسب درصد مصالح مصرفی موجود در خشت با کد اختصاری تعریف شده برای آن طرح اختلاط، ثبت شده است.

ت. ۷. درصد رطوبت و وزن واحد حجم نمونه های تثبیت شده با ۱٪ الیاف نخل خرما و ۱۵٪ آهک.

کد اختلاط	درصد ماسه	درصد رس و سیلت	درصد آهک	درصد الیاف خرما	درصد رطوبت نمونه موقع ساخت (رطوبت بهینه)	وزن واحد حجم خشک نمونه (روز هفتم) (gr/cm^3)
$S_d F1 L1 C15$	۱۹	۳۵	۱۵	۱	۱۸	۱/۸۷
$S_d F1 L1 C6$	۳۱	۵۰	۱۰	۱	۲۱	۱/۸۱

ت. ۸. درصد رطوبت و وزن واحد حجم نمونه های خشتی معمولی و مرسوم (فاقد آهک، و فاقد الیاف).

کد اختلاط	درصد ماسه	درصد رس و سیلت	درصد آهک	درصد الیاف خرما	درصد رطوبت نمونه موقع ساخت (رطوبت بهینه)	وزن واحد حجم خشک نمونه (روز هفتم) (gr/cm^3)
$S_d F1 L1 C15$	۱۵	۳۵	۰	۰	۱۷.۵	۲/۱۳۵
$S_d F1 L1 C50$	۵۰	۵۰	۰	۰	۱۳	۲/۱۲۱



با توجه به آزمایشات صورت پذیرفته و نمودارهای مربوطه، نتایج ذیل به عنوان نتایج نهایی پژوهش به دست آمد: بهترین نمونه خشتی با مصالح مورد نظر، ترکیب خشتی ($S_d F1 L1 C50$) به دست آمد. به عبارتی با استفاده از ۱٪ الیاف نخل خرما، ۱۵٪ آهک و ۵۰٪ رس و سیلت

بهترین نوع مقاومت در شرایط S_d (یعنی در شرایط محیطی با رطوبت ۳۵ درصد) به وقوع می‌پیوست. مقدار ماسه مطلوب طرح در هر خشت نیز، ۳۴٪ کل مصالح خشک می‌باشد.

نتایج نشان داد که با در نظر گرفتن ترکیب برتر $(S_d F1)$ $(L15 C50)$ ، مقدار مقاومت فشاری متوسط سه نمونه خشتی ۲۸ روزه آن، ۱/۹۵۵ مگا پاسکال می‌باشد؛ در حالی که حداقل اعلام شده در برخی استانداردها، مانند استاندارد ترکیه، ۱ مگا پاسکال اعلام شده است لذا می‌توان گفت مهم‌ترین خصوصیت خشت یعنی مقاومت فشاری آن برای حالت منتخب، حدود دو برابر حداقل مقاومت استاندارد بوده و تا حد مطلوبی آن را بهبود بخشیده است. (منبع شماره ۶). در اینجا مقاومت فشاری نمونه‌های ۵۶ روزه با ترکیب $(S_d F1 L15 C50)$ حدود ۲/۳۶ مگا پاسکال و مقاومت خمشی نمونه‌های ۲۸ و ۵۶ روزه به ترتیب ۰/۲۵ و ۰/۳۰۳ مگا پاسکال به دست آمد.

نتایج زمان نفوذ آب به تمام حجم نمونه با ترکیب خشتی $(S_d F1 L15 C50)$ ۵۰ دقیقه می‌باشد.

مقاومت نرم شدگی نمونه خشتی نیز در برابر آب، حداقل ۱۴۴۰ دقیقه ثبت گردید، که در واقع بسیار رضایت بخش می‌باشند. بهترین اثر وجود آهک در نمونه‌های خشتی را می‌توان در افزایش چشمگیر مقاومت خشت‌ها در برابر نفوذ آب (مقاومت نرم شدگی در آب) دانست. درصد رطوبت نمونه مربوط به زمان ساخت این نمونه‌ها ۲۱ و وزن واحد حجم خشک نمونه نیز ۱/۸۴۴ گرم بر سانتی متر مکعب به دست آمد.

بهترین حالت استفاده از آهک برای ساخت خشت آهک دار، استفاده از آهکی است که به مدت ۲۴ ساعت، در آب خیسانده شده است. (شیره آهک یک روزه)

نمونه‌های الیاف دار، تحت آزمون خمش، در لحظه شکست، سریعاً دو نیم شده، اما نمونه‌های الیاف دار،

ضمن تلاش فراوان برای عدم دو نیم شدن خشت در لحظه شکست، فقط به وجود آورنده یک ترک ریز، یا ترک مویی (در وسط طول نمونه)، در آن لحظه می‌شوند. لذا استفاده از نمونه‌های الیاف دار، قطعاً بهتر از نمونه‌های بدون الیاف می‌باشد به عبارتی وجود الیاف نخل خرما در خشت، باعث تأخیر در زمان شکست و خرد شدن و ریزش خشت می‌شود و با این کار، امکان فرار ساکنین خانه‌های خشتی در زمان وقوع زلزله را می‌توانند فراهم نمایند.

پیشنهادها

با توجه به اینکه مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن یکسری پژوهش در زمینه خشت‌های تثبیت شده انجام داده است (به عنوان مثال وجود حدود ۷ درصد آهک را برای خشت‌های مناطق مرطوب شمال کشور مطلوب دانسته) اما برای مناطق مرطوب و گرم مانند چابهار هنوز نتایجی ثبت نشده، لذا با توجه به تنوع آب و هوایی در سطح کشور، نیاز به تحقیقات بیشتر در این زمینه می‌باشد. از طرفی، با توجه به اینکه بررسی رفتار لرزه‌ای خانه‌های خشتی گلی، یکی از موارد ضروری در بحث تحقیقات مهندسی زلزله می‌باشد، برای پیش بینی رفتار این بناها در برابر زمین لرزه، از مدل سازی به روش اجزا محدود می‌توان استفاده نمود. این مدلسازی عددی می‌تواند بر اساس خواص و شکل ساخت این نوع خانه‌ها انجام پذیرد و در آن مواردی همچون ابعاد متداول ساخت، ابعاد بلوک‌های خشتی، نحوه چیدمان و اثر ملات، مورد نظر قرار گیرد. تحلیل عددی آن نیز توسط نرم افزار اجزا محدود ABAQUS قابل انجام می‌باشد. نتایج این بررسی‌ها در ابتدای امر، چگونگی تخریب و روند فروپاشی را به نمایش می‌گذارد؛ آنگاه با این الگو می‌توان به موضوع مقاوم سازی و کاهش خسارات بناهای خشتی ورود نمود. همچنین می‌توان با استفاده از

روش‌های نوین و پژوهش‌های بیشتر، انعطاف قالب‌های خشتی الیاف دار را به سازه‌های خشتی و تقویت مقاومشان در برابر بارهای جانبی، تعمیم داد. در صورت تحقق این هدف، می‌توان سازه‌های خشتی را با هزینه کم و با مصالح هم‌سنگ با خشت، در برابر بارهای جانبی زلزله تقویت نمود و از اتفاق وحشتناک و مرگ و میر فراوان، نظیر آنچه در سال ۱۳۸۲ در بسم افتاد، تا حد زیادی کاست و به عبارت دیگر اطمینان خاطر و امنیت برای زندگی در منازل خشتی رقم زد. البته بایستی از تبلیغات گسترده‌ای که اخیراً با شعار کاهش مشکل مسکن، در راستای صنعتی شدن ساختمان و اجرای ساختمان‌های پیش ساخته در کشور آغاز گردیده، و در چند سال آینده بافت مناطق شهری و روستایی را به چالش جدی خواهد کشید، جلوگیری نمود؛ در این راستا می‌توان با مطالعات و تحقیقات مداوم مهندسین سازه و همچنین تبلیغات فراوان رسانه‌ای، اقدام لازم جهت حفظ میراث گذشتگان و به روز رسانی و تقویت مصالح ساختمانی سنتی و بومی را عملی نمود و از هیچ کوششی که برای تقویت سازه‌های سنتی و فرهنگ ساختمان سازی ایرانی-اسلامی، لازم است فرو گذار نمود. با این کار می‌توان تعداد بندهای آیین نامه‌ای مختصر و محتاطانه موجود در مبحث هشتم مقررات ملی ساختمان را گسترده‌تر و کاربردی نمود. (منابع شماره‌های ۱۲ و ۱۳). اگر چه تحقیقات فراوانی نیز تاکنون در بحث مقاوم‌سازی بناهای سنتی در ترکیه، پرو، مکزیک و ... صورت پذیرفته است که منجر به تدوین آئین نامه متداول در آن کشورها شده است. (منابع شماره‌های ۹ و ۱۴)

منابع

- اسماعیلی، علیرضا. (۱۳۸۸)، سمینار کارشناسی ارشد عمران-سازه، «بررسی بهبود خصوصیات خشت و استحکام بنای خشتی» (مطالعات علمی چندین ساله، و مصاحبه‌های صورت پذیرفته با بسیاری از متخصصین حوزه مرمت).

- «آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰ ایران». (۱۳۸۴)، ویرایش چهارم.
- دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان. (۱۳۸۷)، «مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث هشتم، طرح و اجرای ساختمان‌های با مصالح بنایی»، چاپ چهارم، ص ۵۳
- M.J.Lant. (۱۹۸۰م)، «خشت های تثبیت شده برای ساختمان»، فرورز روشن بین، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ترجمه مقالات علمی و فنی، شماره ۱۳
- نورمانشیری، کامییز؛ سهرابی، محمدرضا؛ رئوفی، فردین؛ (۱۳۸۵)، مقاله «اثرات اختلاط برگ نخل خرما بر روی مقاومت فشاری بتن»، دانشگاه سیستان و بلوچستان
- پرهیزکار، طیبیه؛ ماجدی اردکانی، محمدحسین. (۱۳۸۱)، «بررسی مشکلات مصالح به کار رفته در ساخت و ساز های منطقه زلزله چنگوره - آوج»، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، سمینار درس-هایی از زلزله چنگوره- آوج
- دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان. (۱۳۸۷)، «مقررات ملی ساختمان ایران، مبحث ششم، بارهای وارد بر ساختمان»، چاپ چهارم، ص ۲۹ و ۳۰
- باسلیقه، فرنوش. (۱۳۸۵)، مقاله «ارائه راه حل‌های بهسازی لرزه- ای ساختمان‌های خشتی با استفاده از مصالح موجود در ایران»، دانشگاه صنعتی شاهرود
- Enrico Quagliarini , Stefano Lenci. (2010) "The influence of natural stabilizers and natural fibres on the mechanical properties of ancient Roman adobe bricks", Journal of Cultural Heritage, vol 11 , pp.309-314
- Taha Ashour, Hansjorg Wieland, Heiko Georg, Franz-Josef Bockisch, Wei Wue. (2010) "The influence of natural reinforcement fibres on insulation values of earth plaster for straw bale buildings", Materials and Design , vol 31 , pp.4576-4585
- Arvind Chel, G.N.Tiwari. (2009) "Performance evaluation and life cycle cost analysis of earth to air heat exchanger integrated with adobe building for New Delhi composite climate", Energy and Buildings, vol 41 , pp.56-66
- The using of waste "- Nurhayat Degirmenci. (2008) phosphogypsum and natural gypsum in adobe stabilization", Construction and Building Materials , vol 22 , pp.1220-1224
- Sukru Yetgin, Ozlem Cavdar, Ahmet Cavdar. (2008) "The effects of the fiber contents on the mechanic properties of the adobes", Construction and Building Materials, vol 22 , pp.222-227
- Hanifi Binici, Orhan Aksogan, Mehmet Nuri Bodur, Erhan Akca, Selim Kapur. (2007), "Thermal isolation and mechanical properties of fibre reinforced mud bricks as wall materials", Construction and Building Materials, vol 21 , pp.901-906