

مسکن و محیط زیست

شماره ۱۰۴ ◆ تاپستان ۹۵ ◆

بررسی آزمایشگاهی دیوار خشتمانی تحت کشش قطربند با رویکرد تقویت خشت و ملات

اصغر وطنی اسکویی *، محمد افضلی **، محمدرضا مددی پور ***، علی بخشی ****

۱۳۹۳/۰۷/۱۳

تاریخ دریافت مقاله:

۱۳۹۴/۰۶/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله:

چکیده

در این مطالعه نحوه بهبود عملکرد لرزه‌ای دیوارهای خشتمانی بررسی شده است. بهبود عملکرد با دو دیدگاه بهبود مشخصات بلوك و ملات، انجام شده است. بدین منظور ابتدا بلوك‌های خشت با افزودنی‌های طبیعی (لیف خرما، پوسته برنج، خرد شکر و کاه) با درصد های وزنی مختلف $0/3$ ، $0/6$ و $0/9$ تقویت شده‌اند. در انتخاب افزودنی‌ها سعی شده است از افزودنی‌های طبیعی، ارزان و موجود در اکثر نقاط جهان استفاده شود. بهترین نمونه تقویت شده، با توجه به بهترین مقاومت فشاری و دوام در برابر آب شستگی انتخاب شده است. سپس بلوك‌هایی با توجه به نتایج بلوك‌های دارای افزودنی‌های طبیعی ساخته شده و مشخصات مکانیکی آن‌ها به کمک آزمایش‌های انجام شده بر روی آن‌ها تعیین شده است. از کاه برای تقویت ملات استفاده شده و خواص مکانیکی ملات معمولی و ملات تقویت شده مورد بررسی قرار گرفته است. در پایان سه نوع دیوار (شاهد، دارای ملات مسلح شده و دارای ملات و بلوك مسلح شده) در مقیاس $1:2$ ساخته شده‌اند. بدین منظور تعداد 6 عدد دیوار در ابعاد $120 \times 22 \times 120$ سانتی‌متر ساخته شده‌اند. نمونه‌های شاهد دارای بلوك و ملات معمولی بوده و دیوارهای تقویت شده در دو نوع دارای ملات تقویت شده و نیز دارای بلوك و ملات تقویت شده بوده‌اند. سپس نمونه‌ها تحت آزمایش کشش قطربند مورد آزمایش قرار گرفته و نتایج حاصل از آزمایش تحلیل شده‌اند. در دیوارهای دارای بلوك و ملات مسلح شده، مقدار نیرو به اندازه $2/33$ % و جذب انرژی این دیوارها به اندازه $81/100$ % بیشتر از دیوارهای شاهد بوده است. نتایج نشان داده‌اند که با تقویت بلوك و ملات، رفتار دیوار خشتمانی در برابر بار فشاری قطربند بهبود یافته است. علاوه بر موارد اشاره شده وجود یافیت شده (دیوارهای مسلح) باعث کاهش ترک و یکپارچگی بیشتر در ملات، نسبت به ملات به کار رفته در دیوارهای با ملات تقویت نشده (دیوار شاهد) شده است.

واژگان کلیدی: خشت، آزمایش کشش قطربند، کاه، ملات، دیوار خشتمانی.

* دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی.

** دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشکده عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی.

*** دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشکده عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی.

**** دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

در زلزله‌هایی که در چند سال اخیر در ایران و سایر نقاط جهان رخ داده، ساختمان‌های خشتشی خسارت جانی و مالی زیادی داشته است. نبودن آینین نامه و استاندارد برای ساختمان‌های خشتشی از جمله موارد دیگری است که نیاز به ساخت و آزمایش دیوارهای خشتشی جهت بررسی رفتار این دیوارها را دوچندان می‌کند.

ساخت و سازهای خشتشی و گلی در نقاط مختلف دنیا و از جمله در کشور ما، ایران رواج بسیاری دارد. سازگاری مناسب، اقتصادی بودن و سهولت و سرعت در تهیه از جمله ویژگی‌های مثبت این نوع مصالح محسوب می‌شود که بهدلیل مسائل اقتصادی، هم اکنون نیز ساخت و ساز غالب بسیاری از نقاط کشور از نوع خشتشی و گلی می‌باشد. اما مسئله مهمی که در ارتباط با این ساختمان‌ها به چشم می‌خورد، عدم طراحی بسیاری از آن‌ها برای مقابله با بارهای لرزه‌ای می‌باشد. زلزله‌های اخیر نشان داده است که به‌طور کلی سازه‌های بنایی غیر مسلح در برابر بارهای لرزه‌ای آسیب‌پذیرند و نیاز به مقاوم‌سازی دارند [۱]. مکانیزم‌های مختلفی برای شکست دیوارهای خشتشی وجود دارد. یکی از ضعف‌های دیوارهای مصالح بنایی و دیوارهای خشتشی در برابر بارهای جانی ملات آن می‌باشد.

اصلی‌ترین دلایل برای استفاده از خشت را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد [۲]: (الف) ماده‌ای که در همه جا در دسترس است؛ (ب) برای تولید خشت و سازه‌های خشتشی، مهارت و تکنولوژی بالایی مورد نیاز نمی‌باشد؛ (پ) تعمیر و نگهداری سازه‌های خشتشی، نیاز به آزمایشگاه خاصی ندارد و (ت) خواص ذاتی خاک آن را عایق صدا و گرما می‌سازد [۳ و ۴].

مقاومت جانبی یک سازه خشتشی از رفتار برشی درون صفحه دیوارهای خشتشی به دست می‌آید. علاوه بر این، رفتار سازه‌های خشتشی به صورت بروون صفحه، رفتار خمی می‌باشد [۶ و ۵]. در مناطق با لرزه‌خیزی زیاد، فقدان سختی درون-صفحه و بروون-صفحه دیوارهای خشتشی، خط‌بزرگی برای ساکنین می‌باشد [۷]. از آنجا که سازه‌های خشتشی مقاومت و شکل‌پذیری کافی را ندارد، پایداری یک سازه خشتشی معمولی و بدون تقویت بعد از یک زلزله شدید ممکن نیست [۷]. بنابراین افزایش مقاومت مناسب، یکپارچگی و اتلاف انرژی در دیوارهای خشتشی، یک مسئله بحرانی تحت بارهای شدید لرزه‌ای شده است. برای افزایش مقاومت و بهبود رفتار دیوارهای خشتشی تحقیقاتی بر روی رفتار و خواص خشت شده است که روش‌های مختلفی را برای افزایش مقاومت فشاری خشت مورد استفاده قرار داده‌اند [۸] الی [۱۱]. استفاده از میلگرد‌های افقی و قائم در ساختار دیوارهای خشتشی به‌وسیله بلوندت^۱ و همکاران مورد مطالعه قرار گرفته است، که موجب بهبود رفتار درون-صفحه و بروون-صفحه دیوارهای خشتشی شده است [۶].

داولینگ^۲ در تحقیقاتش برای بهسازی دیوار از تور در بین ملات استفاده کرده، که بیشتر در گوشه‌ها قرار داده می‌شود [۱۲].

بررسی دیوارهای خشتشی را می‌توان در بخش‌های زیر در نظر گرفت: ۱- بلوکی که برای ساخت دیوار مورد استفاده قرار می‌گیرد. ۲- ملاتی که برای اتصال بلوک‌ها استفاده می‌شود. ۳- دیوار که حاصل از بلوک‌ها و ملات می‌باشد. در این تحقیق از الیاف کاه به عنوان تقویت کننده ملات و بلوک استفاده شده و پس از تعیین مشخصات مکانیکی آن‌ها، دیوار معمولی: با بلوک و ملات معمولی و دیوار تقویت شده: با بلوک و ملات تقویت شده با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

روش آزمایش

مصالح

برای ساخت خشت از رس، ماسه و شن استفاده شده است تا مشابه مصالح موجود در دسترس برای ساخت خشت باشد.

در خشت، سنگدانه (شن و ماسه) نقش پر کننده و جلوگیری از انقباض و ترک خوردن خشت را دارد و آب برای روان کردن و مخلوط کردن مواد با یکدیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

برای ساخت ملات نیز فقط از خاک رس و ماسه استفاده شده که مشابه مصالح رد شده از الک باشد.

برای مسلح کردن بلوک و ملات نیز از افزودنی‌های طبیعی مانند لیف خرما، کاه، خرد چوب و پوسته برنج استفاده شده است.

خاک رس

برای تهیه خشت و ملات از یک نوع خاک رس استفاده شده است. مشخصات خاک رس با توجه به آزمایشات انجام شده در جدول شماره ۱ آورده شده است.

وزن مخصوص خاک (kN/m ³)	۲/۷
مقدار رطوبت (%)	۳/۷
حد روانی (%)	۲۹
حد خمیری (%)	۱۶/۹۴
shrinkage Limit (%)	۱۳/۵۹
Plasticity index (%)	۱۲/۰۶
نشانه روانی (%)	-۱/۱۰
نشانه غلظت (%)	۲/۱۰

ج ۱. مشخصات خاک رس مورد استفاده در خشت و ملات.



ت ۱. افزودنی کاه.

قطر (mm)	طول (mm)	تراکم	وزن مخصوص (kN/m ³)	تشکشی (MPa)
۱-۴	۱۰-۴۰	۲/۰۵	۱۲	۳۸-۵۰

ج ۲. مشخصات افزودنی کاه.

لیف خرما: این افزودنی حاصل پوسته درخت خرما بوده که چون طول آن بیش از ده برابر قطر آن بوده به آن لیف

سنگدانه

سنگدانه استفاده شده در خشت، ماسه و شن می‌باشد. مشخصات ماسه و شن در جدول شماره ۲ داده شده است. با تغییرات دما رطوبت ماسه و شن نیز تغییر می‌کند، رطوبت ماسه و شن به ترتیب در هنگام استفاده در خشت برابر با $1/53$ و $2/4$ درصد بوده است.

W _{SSD} %	G _S	V _S (c.c)	W _{SSD} (gr)	W _d (gr)	نوع سنگدانه
۳/۶۶	۱/۸۳	۲۷۰	۵۱۱/۷۲۸	۴۹۳/۶۶	ماسه
۲/۲۲	۲/۴۷	۲۰۰	۵۰۵/۴۲	۴۹۴/۴۴	شن

ج ۲. مشخصات سنگدانه.

افزودنی‌های طبیعی

کاه: این افزودنی چون ساقه گیاه بوده، دارای ساختاری توخالی و سطح زیر است. طول میانگین قطعات آن $۲/۵$ سانتی‌متر بوده که در بازه ۱ تا ۴ سانتی‌متر متغیر بوده است.

وزن مخصوص خاک (kN/m ³)	۲/۷
مقدار رطوبت (%)	۳/۷
حد روانی (%)	۲۹
حد خمیری (%)	۱۶/۹۴
shrinkage Limit (%)	۱۳/۵۹
Plasticity index (%)	۱۲/۰۶
نشانه روانی (%)	-۱/۱۰
Concentration index (%)	۲/۱۰

ج ۱. مشخصات خاک رس مورد استفاده در خشت و ملات.

آزمایش‌های انجام شده بر روی خاک رس بر طبق استاندارد [۱۳] ASTM انجام شده است. بر طبق طبقه‌بندی سیستم متحده^۳ برای خاک، خاک از نوع رسی با خاصیت خمیری پایین (CL) می‌باشد.

تذکر: چون افزودنی‌های طبیعی که برای تعویت استفاده شده‌اند، همانطور که قبلًاً گفته شد به خاطر الیافی بودن یا توخالی و توپر بودن انتخاب شده‌اند، از خاکستر استفاده نشده است.



ت ۴. پوسته برنج.



ت ۲. الیاف خرما.

کاه	لیف خرما	چوب	خرده چوب	پوسته برنج	نمونه
۳۴۸	۲۳۲	۲۸۶	۴۱۰	%	جذب آب

ج ۵. جذب آب افزودنی‌های طبیعی.

قطر (mm)	طول (mm)	ضریب پواسون	E (MPa)	کرنش نهایی %	تشکشی (MPa)
۱ - ۲	۱۰ - ۴۰	۰/۴۹	۴۲۰۰	۰/۰۳۷	۶۵/۱

ج ۴. مشخصات الیاف خرما.

روش آماده‌سازی نمونه‌ها
آماده‌سازی بلوک‌های خشتش با افزودنی‌های طبیعی
هدف از این مطالعه بررسی تأثیر افزودنی‌های طبیعی
بر روی خواص مکانیکی خشت می‌باشد. برای این هدف
درصد خاک رس، ماسه، شن و آب ثابت و درصد الیاف
متغیر در نظر گرفته شده است.

درصد مصالح استفاده شده در این آزمایش در جدول
شماره ۶ آمده است. درصدهای داده شده در این جدول
بر حسب وزن خاک محاسبه شده است. در جدول شماره
۶ برای انواع مخلوط‌ها از علائم اختصاری استفاده شده
است که C نشان‌دهنده خاک رس، S ماسه، G شن،
N افزودنی طبیعی که باید با W خرد چوب نجاری،
P الیاف خرما، R پوسته برنج و St کاه در جدول شماره
۶ جایگزین شود به عنوان مثال A0.3W یعنی نمونه‌ای

خرده چوب: این افزودنی حاصل پرتو مواد کارگاه
چوب‌بری بوده، ساختار آن به چوب پایه بستگی دارد در
این پژوهش خرد چوب استفاده شده، فنری شکل و
طول میانگین قطعات آن یک سانتی‌متر بوده است.



ت ۳. خرد چوب.

پوسته برنج: این افزودنی حاصل از ضایعات جدا شده
از برنج بوده که تقریباً پودر مانند است.

آماده‌سازی بلوک‌های خشتشی برای ساخت دیوار
 بلوک‌هایی که برای ساخت دیوار شاهد و دیوار تقویت شده در نظر گرفته شده‌اند از آنجا که باید در تعداد زیادی ساخته می‌شند مقدار آب و رس در آن‌ها بیشتر شده تا کارایی بهتر و سرعت بیشتری در ساخت داشته باشند.
 از طرفی تقویت‌کننده با توجه به آزمایش‌های انجام شده بر روی بلوک‌های دارای افزودنی طبیعی انجام شده است که از لیف خرما و کاه به ترتیب تأثیر مثبتی بر مقاومت فشاری و دوام در برابر آب شستگی داشتند، انتخاب شده‌اند.

بلوک‌هایی که برای دیوار شاهد انتخاب شده‌اند نیز بدون تقویت کننده بوده‌اند.

براساس نوع مصرف این خشت، ترکیباتی انتخاب شده‌اند که در جدول شماره ۸ درصدهای وزنی آن‌ها ذکر شده است:

رس٪	ماسه٪	شن٪	آب٪	کاه٪	لیف خرما٪	نمونه
۳۱/۴۹	۴۷/۲۳	۵/۹	۱۲/۷۹	۰/۸	۰/۸	تقویت شده
۳۲	۴۸	۶	۱۳	۰	۰	معمولی

ج ۸ درصدهای ترکیب ثابت برای ساخت نمونه خشت برای ساخت انواع دیوار.

دانه‌بندی مصالح مورد استفاده در خشت در نمودار شماره ۱ نمایش داده شده است.

مصالح براساس ASTM D422-87 خوب دانه‌بندی شده، بوده است.

ابعاد خشت مورد استفاده برای ساخت دیوار خشتی، ۲۲ در ۲۲ در ۷ سانتی‌متر به عنوان خشت و ۲۲ در ۱۱ در ۷ به عنوان نیم خشت (برای این که رج روی رج قرار نگیرد)، بوده است.

با خرده چوب که ۰/۳ خرده چوب در نمونه به کار رفته است.

نام نمونه	خاک رس٪	ماسه٪	شن٪	آب٪	افزودنی طبیعی
C	۱	-	-	۰/۳۶	-
A=CSG	۰/۳۵	۰/۷۵	۰/۱۳	۰/۱۴	-
A0.3N	۰/۲۲	۰/۷۵	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۰۰۴
A0.6N	۰/۲۲	۰/۷۴	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۰۰۸
A0.9N	۰/۲۲	۰/۷۴	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۰۱۲

ج ۶. درصد انواع افزودنی‌ها برای انواع مخلوط ساخته شده (خرده چوب، الیاف خرما، پوسته برج و کاه).

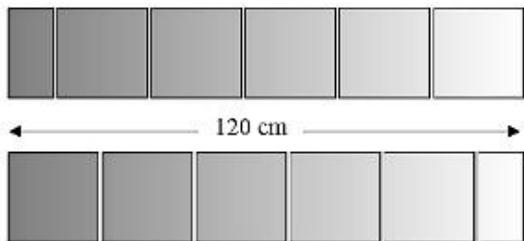
مقدار آبی که به مخلوط اضافه می‌شود بر حسب مقدار رس و حالت اشباع با سطح خشک مصالح (SSD) تعیین شده است. هر یک از نمونه‌های خشتی در شرایط یکسان دما (متوسط ۲۳°C) در شرایط آزمایشگاهی خشک شده و برای خشک کردن نمونه‌ها هر ۲۴ ساعت یک بار جابجا می‌شند تا تمام قسمت‌های آجر خشک شود و برای این که به صورت یکنواخت خشک شوند پلاستیک بر روی نمونه‌های انداخته شد تا سریع رطوبت خود را از دست ندهند و در آن‌ها ترک‌های ناشی از خشک شدن سریع و نامتقارن به وجود نیاید. ۲۸ روز مدت زمانی بود که برای خشک شدن تمام نمونه‌ها در نظر گرفته شد.

آماده‌سازی ملات

درصدهای مصالح مورد استفاده در ملات در جدول شماره ۷ آورده شده است.

نوع ملات	رس٪	ماسه٪	آب٪	کاه٪
ملات معمولی	۶۴/۵	۱۶/۱	۱۹/۴	-----
ملات کاه	۶۴	۱۶	۱۹/۲	۰/۸

ج ۷. درصدهای ترکیب ثابت برای ساخت انواع ملات.

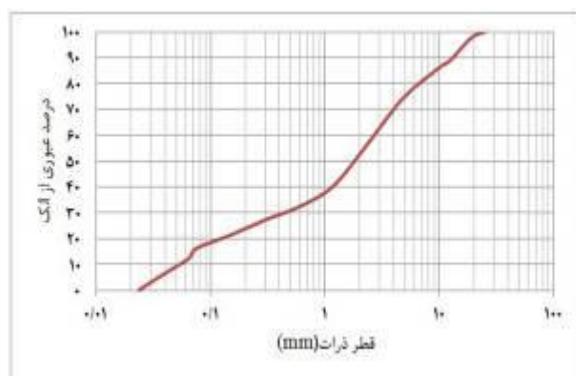


ت ۵. رج زوج و فرد برای چیدن دیوارهای نمونه.

روش‌های انجام آزمایش

روش‌های انجام آزمایش بر روی بلوک‌های خشتشی با افزودنی‌های طبیعی و بلوک‌های تهیه شده برای ساخت دیوار آزمایش فشاری در استاندارد شماره ۷ ایران، برای سرعت بارگذاری مقداری مشخص نشده است. به همین جهت در مورد سرعت بارگذاری از آئین نامه‌های معتبر ASTM و BS استفاده شده است. در آئین نامه ASTM ابتدا تا نصف بار ماكزيمم مورد انتظار، بار با هر سرعت معمولی مناسب اعمال می‌شود، سپس سرعت دستگاه آزمایش چنان کنترل می‌شود که تا لحظه شکست بار اعمالی با یک سرعت يکنواخت بین ۱ تا ۲ دقیقه باقی بماند. در آئین نامه BS بار بدون هیچگونه شوک در یک سرعت معمولی کمتر از ۳۵ N/mm²/min نصب مقدار بار ماكزيمم مورد انتظار، اعمال می‌شود. سپس به طور آرام سرعت بارگذاری را به ۱۵ N/mm²/min رسانیده و تا لحظه شکست این سرعت باقی خواهد ماند. پایان آزمایش لحظه‌ای است که عقربه نیروسنج دستگاه آزمایش از حد نهایی بالاتر نزود [۱۴ و ۱۵].

برای انجام آزمایش فشاری تجهیزات زیر استفاده شده‌اند:



ن ۱. دانه‌بندی مصالح مورد استفاده در خشت براساس (D421-58) و ASTM D422-87.

آماده‌سازی دیوار خشتشی

دیوار کاری توسط ابزار بنایی انجام شده است، افقی بودن رج‌ها و شاقولی بودن دیوار مورد توجه قرار گرفت. ضمناً رج‌ها طوری چیده شده‌اند که درزهای ملات روی هم قرار نگیرند. نمونه‌های ساخته شده به ترتیب جدول شماره ۹ بوده‌اند.

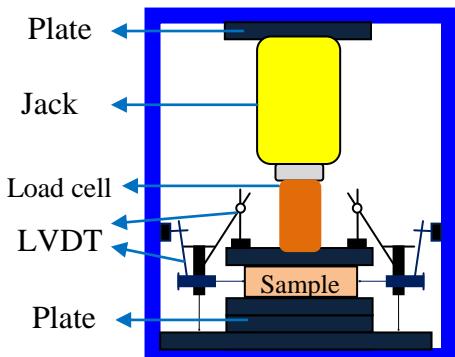
نام	ملات (M)	بلوک (B)	نمونه
Bt-Mt	معمولی	معمولی	۱
Bt-Mr	مسلح	معمولی	۲
Br-Mr	مسلح	مسلح	۳

ج ۹. اسم گذاری انواع دیوار.

پسوند ۱ نشانه معمولی و پسوند ۲ نشانه تقویت شده است.

برای چسییدن بهتر ملات به خشت، سطح خشت‌ها هنگام استفاده مرطوب شده‌اند.

پلان دیوار ساخته شده به صورت تصویر شماره ۵ بوده است.



ت ۶. مشخصات آزمایش فشاری بر روی بلوک‌های خشتشی.



ت ۷. دستگاه انجام آزمایش.

آزمایش دوام در برابر آب‌شستگی:

یکی از مشکلات سازه‌های خشتشی مشکلات سطحی ایجاد شده به دلیل عبور آب بوده است [۱۷]. بلوک‌های ساخته شده از مواد رسی (به عنوان چسباننده) مقاومت فشاری ۴/۵ – ۳ مگاپاسکال را تحمل کرده‌اند. اما دیوارهای ساخته شده از خشت و بلوک‌های فشرده، خراب و نرم شده‌اند، هنگامی که اشباع شده‌اند. دیوارهای ساخته شده از بلوک‌های خشتشی باید در مقابل رطوبت ناشی از باران و شرایط جوی محافظت شوند [۱۸].

برای اندازه‌گیری دوام در برابر آب‌شستگی، چون عبور جریان آب بر روی گنبدها اتفاق می‌افتد، به عنوان معیاری برای مقایسه، در کanalی به عرض ۱۶ سانتی‌متر و شیب

دستگاه دیتالاگر^۴: برای جمع آوری لحظه به لحظه نیرو و تغییر مکان.

جک هیدرولیک^۵: برای اعمال نیروی فشاری.

نیروسنج^۶: برای اندازه گیری نیروی فشاری اعمالی.

تغییر مکان سنج^۷: برای اندازه گیری تغییر مکان.

قطعه فلزی: برای پخش نیروی فشاری بر روی کل سطح نمونه.

ماسه نرم: برای پخش بهتر بار بار روی سطح نمونه‌ای که سطح آن کاملاً صاف نیست.

فیلم عکس رادیوگرافی: برای اینکه ماسه مرتبط با سطح نمونه، در داخل نمونه فرو نرود و ترکهای نمونه را حین بارگذاری پر نکند. طبق مشخصات آزمایش در کار پیاتونی^۸ و همکاران [۱۶].

در این آزمایش طبق تصویر شماره ۶، ابتدا روی تکیه‌گاه پایین صفحه‌ای فلزی قرار داده شده و سپس لایه‌ای از ماسه روی آن ریخته شده و بعد لایه نازک فیلم عکاسی روی آن قرار گرفته است، سپس نمونه روی فیلم قرار گرفته و سپس نمونه روی فیلم قرار گرفته است و باز و سپس، روی نمونه نیز فیلم قرار گرفته است و باز روی فیلم لایه‌ای از ماسه و پس از آن صفحه فلزی قرار گرفته تا بار به صورت گستردگی به نمونه وارد شود [۱۶]. سپس از یک عدد جک هیدرولیک برای اعمال بار فشاری و یک عدد نیروسنج برای دانستن بار واردہ استفاده شده و برای دانستن تغییر مکان‌های عرضی و طولی (طول اولیه ۲۲ سانتی‌متر) دو تغییر مکان‌سنج و برای تغییر مکان ارتفاعی (طول اولیه ۷ سانتی‌متر)، نیز دو تغییر مکان‌سنج نصب شده‌اند.

به دلیل اینکه برای خشت نمی‌توان محل خاصی را به عنوان اتمام آزمایش در نظر گرفت اعمال بار تا جایی صورت گرفته که بار برگشت کرده است.

۳/۵ درجه، جریان آبی با سرعت ۸/۶ سانتی متر در هر ثانیه روان شده و نمونه‌ها به صورت طولی در کanal قرار داده شده‌اند و زمان آب‌شستگی نمونه‌ها اندازه‌گیری شده است. در این آزمایش از نمونه‌های نصف خشت (۲۲ در ۱۱ در ۷ سانتی متر) استفاده شده است. در تصویر شماره ۸ نحوه انجام آزمایش نمایش داده شده است.



ت ۱۰. شمای آزمایش مقاومت برشی مصالح بنایی.

روش‌های انجام آزمایش بر روی انواع دیوار

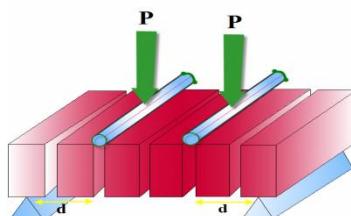
شش نمونه با ابعاد $120 \times 120 \times 22$ cm ساخته شده است. ملات و بلوک دو دیوار شاهد معمولی بوده، بلوک دو دیوار دیگر معمولی و ملات آن تقویت شده و ملات و بلوک دو دیوار مسلح شده، تقویت شده و استفاده شده است. نمونه دیوارهای خشته ساخته شده بعد از ۲۸ روز مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. برای مشاهده بهتر ترک‌های ایجاد شده در حین آزمایش، بر روی دیوار توسط دوغاب آهک سفیدکاری انجام شده است. برای جلوگیری از آسیب دیدن نمونه‌ها قبل از آزمایش، نمونه‌ها در نزدیکی محل آزمایش ساخته شده و اطراف دیوارها چوب قرار داده شده سپس درون قاب فلزی پیچ و مهره‌ای جایگذاری شده و جابجایی توسط جرثقیل، همراه با قاب صورت گرفته است و پس از قرار گرفتن در زیر جک، به‌آرامی قاب فلزی و قطعات چوبی برداشته شده‌اند.

برای توزیع بهتر نیروی فشاری و خرد نشدن گوشه‌ها تحت بار متمرکز، در قسمت بالا و پایین دیوار قطعات چوبی قرار داده شده است [۷]. سپس در بالای دیوار و در زیر جک هیدرولیکی نیروسنگ قرار داده شده است. برای اندازه‌گیری تغیر مکان دیوار در دو راستای قطر،

ت ۸. آزمایش نمونه‌ها در جریان آب.

روش‌های انجام آزمایش بر روی ملات‌های مختلف:

روش‌های انجام آزمایش بر روی ملات ملات در دو نوع معمولی و تقویت شده در ابعاد زیر ساخته شده و مورد بررسی قرار گرفته است: نمونه‌های در ابعاد $5 \times 5 \times 5$ سانتی‌متری برای انجام آزمایش فشاری؛ (مشابه تصویر شماره ۷) نمونه‌های در ابعاد $16 \times 4 \times 4$ سانتی‌متری برای انجام آزمایش خمی؛ نمونه‌های ۵ تایی به ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری برای انجام آزمایش فشاری؛ (مشابه تصویر شماره ۷) نمونه‌های ۶ تایی با فاصله دهانه ۴۵ تا ۱۵ سانتی‌متر برای انجام آزمایش خمی ۲ نقطه‌ای.



ت ۹. شمای آزمایش خمی بر روی نمونه‌های منشوری ساخته شده با ۶ ردیف خشت.

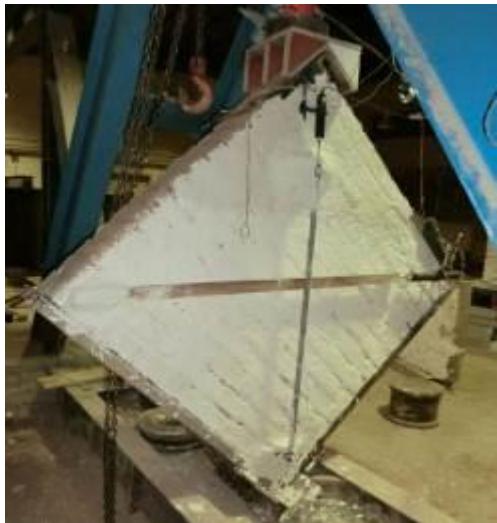
*چون کاه و لیف خرما طول بیشتری نسبت به سایر افزودنی‌ها داشته‌اند، با متصل کردن نواحی مختلف نمونه باعث یکپارچگی نمونه و در نتیجه ادامه ترک‌های حاصله به وسط نمونه شده‌اند.

افزایش درصد افزودنی لیف خرما و کاه باعث شده که ترک‌های بیشتری با عرض کمتر به وجود آید.

* با اضافه شدن درصد کاه و لیف خرما، نقش یکپارچه کردن نمونه بیشتر شده و تنش‌ها بیشتر پخش شده‌اند و افزایش درصد کاه و لیف خرما باعث نقش پل مانندی که در تحقیقات آیمیریچ^۹ [۱۹] بدان اشاره شده، می‌شود.

در نمونه‌های معمولی طبق تصویر شماره ۱۳ ترک‌های بزرگی به وجود آمده است.

تغییر مکان سنج نصب شده است. تصویر شماره ۱۱ مشخصات دیوار را قبل از شروع آزمایش نشان می‌دهند.



ت ۱۱. آماده‌سازی دیوار قبل از تست.



ت ۱۲. ترک‌های ایجاد شده در نمونه (C+S+G) در آزمایش فشاری.



ت ۱۳. ترک‌های ایجاد شده در نمونه (C+S+G+0/9P) در آزمایش فشاری.

*چون نمونه‌های معمولی، فاقد الیاف بوده و در نتیجه نقش پل مانند الیاف در آن‌ها به وجود نیامده، ترک‌ها پس از ایجاد بالا فاصله گسترش یافته است.

در نمونه‌های دارای افزودنی پوسته برنج و خرد چوب

نتایج آزمایش فشاری بلوك‌های خشتنی با افزودنی‌های طبیعی

برای هر ترکیب سه نمونه آزمایش شده‌اند. از آنجا که خرابی نمونه‌های خشتنی لحظه‌ای نیست و حتی وقتی نمونه دچار خرابی شده گاهی هنوز تحمل بار داشته‌اند، نیروی فشاری تا وقتی اعمال شده که نمونه‌ها دچار ترک‌های زیادی شده‌اند و بار برگشت کرده است.

نتایج مشاهده‌ای

در همه نمونه‌ها طبق تصاویر ۱۲ و ۱۳، گوشه‌های نمونه دچار خرابی شده‌اند.

*دلیل این خرابی به خاطر تراکم کمتر گوشه‌ها در هنگام ساخت، تمرکز تنش و سریع‌تر خشک شدن گوشه‌ها بوده است.

در نمونه‌های با افزودنی کاه و لیف خرما طبق تصویر شماره ۱۳، گوشه‌های نمونه دچار خرابی شده‌اند و ترک‌های عمودی در گوشه‌ها به وجود آمده‌اند و تا وسط سطح عمودی نمونه ادامه داشته‌اند.

جلوگیری از باز شدن ترک (چه در هنگام خشک شدن و چه در زیر بار که نمونه بشکه‌ای شده) شده است [۲۰]، از طرفی با افزودن الیاف خرما به ترکیب، الیاف در بین ذرات خاک قرار گرفته و اتصال و اصطکاک ذرات خاک کمتر شده است [۲۰] که با افزودن بیش از مقدار مطلوب باعث کاهش مقاومت فشاری کمتر از نمونه با $0/6$ درصد الیاف شده است و در نمونه‌های بدون الیاف ترک‌ها بالا فاصله پس از باز شدن گسترش یافته‌اند و باعث خرابی نمونه شده‌اند.

نام نمونه	σ_{\max} (MPa)	$\varepsilon_{\sigma\max}$	E_{ex} (MPa)
C	۴/۴	۰/۱۳	۳۷
C+S+G	۶/۴۴	۰/۲۴	۳۶
C+S+G+0/3W	۶/۱۴	۰/۱۶	۳۹
C+S+G+0/6W	۶/۹۱	۰/۲۲	۴۰
C+S+G+0/9W	۶/۴۴	۰/۲۸	۴۶
C+S+G+0/3P	۹/۶۴	۰/۲۳	۴۵
C+S+G+0/6P	۱۶/۵۳	۰/۳۹	۴۱
C+S+G+0/9P	۱۶/۳۵	۰/۲۹	۶۷
C+S+G+0/3R	۴/۱۴	۰/۰۸	۲۷
C+S+G+0/6R	۲/۹۸	۰/۱۹	۲۰
C+S+G+0/9R	۲/۶۷	۰/۱۷	۱۸
C+S+G+0/3S	۶/۹۵	۰/۱۳	۲۹
C+S+G+0/6S	۸/۶۴	۰/۳۲	۳۲
C+S+G+0/9S	۸/۷۱	۰/۳۹	۳۳

ج ۱۰. نتایج عددی به دست آمده در آزمایش فشاری نمونه‌های با افزودنی طبیعی.

با توجه به جدول شماره ۱۰، نتایج زیر به دست آمده است:

حداقل تنش فشاری مربوط به نمونه‌های با افزودنی پوسته برنج ($۴/۱۴$ ، $۴/۶۷$ ، $۲/۹۸$ و $۲/۶۷$ مگا پاسکال) بوده است و نمونه با درصد $۰/۳$ پوسته برنج تنش فشاری بیشتر نسبت به درصدهای $۰/۶$ و $۰/۹$ داشته است.

گوشه نمونه‌ها، کاملاً خرد شده‌اند.

*تحلیل: چون پوسته برنج و خرد چوب، فاقد طول مؤثر برای اتصال نواحی مختلف مخلوط به یکدیگر بوده‌اند، لذا پس از شروع شدن ترک، نقشی در برابر باز شدن ترک از خود نشان نداده‌اند.

نتایج عددی

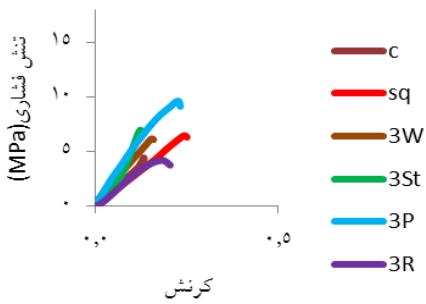
در ادامه، نیروی فشاری به دست آمده و مقدار تغییر مکان‌های عمودی و تغییر مکان‌های عرضی نمونه‌ها که از ثبت نتایج دستگاه دیتالاگر به دست آمده‌اند، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند.

از تقسیم نیروی فشاری به دست آمده برای هر نمونه، بر سطح خالص هر نمونه، تنش فشاری هر نمونه به دست آمده است.

از تقسیم تغییر مکان عمودی به دست آمده هر نمونه، بر طول اولیه هر نمونه (که به طور میانگین ۷ سانتی‌متر بوده ولی برای هر نمونه جداگانه اندازه‌گیری شده است) کرنش‌های عمودی نمونه‌ها به دست آمده‌اند. با استفاده از رابطه تنش و کرنش برای هر نمونه در فاصله $۰/۳$ تا $۰/۶$ تنش نهایی، مدول الاستیسیته هر نمونه به دست آمده است.

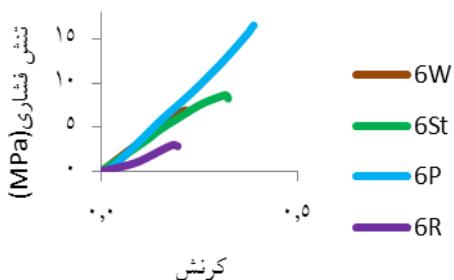
در جدول شماره ۱۰ نتایج به دست آمده از تحلیل نتایج نیروسنجه و تغییر مکان سنج عمودی ارائه شده است: حداقل تنش فشاری مربوط به نمونه‌های با الیاف خرما بوده ($۹/۶۴$ ، $۱۶/۳۵$ و $۱۶/۵۳$ مگا پاسکال) که با افزایش درصد لیف خرما تا حدی افزایش تنش فشاری، مشاهده شده ولی با افزایش بیشتر تنش فشاری کاهش یافته است. مقاومت فشاری نمونه‌های شامل الیاف خرما با $۰/۶$ و $۰/۹$ بیش از دو و نیم برابر نمونه‌های معمولی (دارای: رس، ماسه و شن) و نمونه دارای رس تنها بوده است. *با افزودن الیاف خرما به ترکیب، الیاف خرما با انتقال نیروی برشی از طریق پیوند با اجزای ترکیب باعث

حسب درصد وزنی افزودنی‌های ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ نمودارها در سه دسته ترسیم شده‌اند. رطوبت به دست آمده نمونه‌ها در هنگام آزمایش به طور میانگین ۳٪ - ۲٪ بوده است.

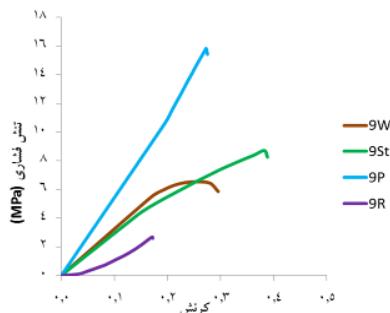


۲. نمودار مقایسه نتایج نمونه‌های با ۰/۳ درصد افزودنی طبیعی.

در نمودار شماره ۵ مقاومت فشاری نمونه‌های با انواع افزودنی طبیعی، نمونه معمولی و نمونه دارای رس تنها، با یکدیگر مقایسه شده‌اند.



۳. نمودار مقایسه نتایج نمونه‌های با ۰/۶ درصد افزودنی طبیعی.



۴. نمودار مقایسه نتایج نمونه‌های با ۰/۹ درصد افزودنی طبیعی.

*ذرات پوسته برنج الیافی نبوده و نقشی در جلوگیری از باز شدن ترک نداشته‌اند، از طرفی با فاصله‌انداختن بین ذرات خاک، باعث کم کردن چسبندگی رس با سایر اجزا و کاهش اصطکاک اجرا شده‌اند [۲۰] و نمونه با درصد کمتر پوسته برنج کاهش تنش فشاری کمتری داشته، چون نقش کمتری در مداخله در عملکرد خاک داشته است.

نمونه‌های دارای افزودنی خرد چوب، افزایش و کاهش قابل توجهی در تنش فشاری نداشته‌اند.

*چون خرد چوب نه از جنس الیاف است و نه پودر شکل، در مورد نقش آن به درستی نمی‌توان قضایمت کرد. ولی مقدار بیش از حد آن با فاصله‌انداختن بین اجزای خاک باعث مختل کردن عملکرد چسبندگی رس و اصطکاک دانه‌ها شده است.

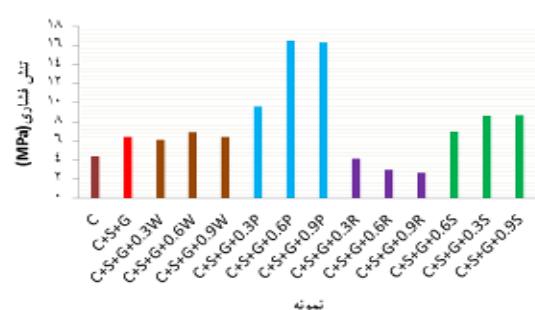
افزودنی کاه، باعث افزایش مقاومت فشاری نسبت به نمونه‌های معمولی شده است. با افزایش درصد باعث افزایش مقاومت شده ولی مقاومت فشاری آن نصف مقاومت فشاری نمونه‌های دارای الیاف خرما بوده است.

*عملکرد جلوگیری از باز شدن ترک کاه مشابه لیف خرما بوده، با این تفاوت که لیف خرما مقاومت کششی بالاتری داشته و دارای الیافی توپر و با قطر کمتر بوده است و بهدلیل نازک‌تر بودن پراکندگی بیشتری در نمونه داشته است.

پیاتونی و همکارانش نیز نشان داده‌اند که با افزایش نسبت ابعاد (تقسیم ارتفاع به قطعات ریزتر) مقاومت فشاری و میانگین عملکرد کرنش نمونه‌ها کاهش یافته است. همان‌طور که در اینجا مشاهده شده نمونه‌هایی که افزودنی آن‌ها طول در برابر بعد بیشتری داشته‌اند، عملکرد بهتری داشته‌اند.

مدول الاستیسیته رابطه یکنواختی با نسبت ابعاد نداشته است [۱۶].

با استفاده از نتایج عددی تنش و کرنش نمونه‌ها در هر لحظه نمودار تنش و کرنش نمونه‌ها ترسیم شده است، بر



ن. ۵. نمودار مقایسه نتایج نمونه‌های با افزودنی طبیعی.

نمودار مقایسه نتایج نمونه‌های با افزودنی طبیعی
نتایج آزمایش دوام در برابر آب شستگی نمونه‌های
دارای افزودنی‌های طبیعی

پایان آزمایش دوام در برابر آب شستگی زمانی در نظر گرفته شده است که نمونه کاملاً اشباع شده و گوششها دچار آب شستگی شده و از نمونه جدا شده‌اند.



ت. ۱۴. نمونه آب شسته.

نتایج آزمایش در برابر آب شستگی به شرح زیر به دست آمده است:

رخداد آب شستگی به صورت زیر بوده است:
ابتدا نمونه کاملاً اشباع شده (که اشباع شدن به دلیل وجود خاک رس به عنوان جاذب آب و لوله‌های موئین که در اثر ترک‌های موجود در نمونه وجود داشته‌اند، بوده است). سپس با اشباع کامل نمونه رس آن متورم شده و نقش کششی خود را از دست داده و با جایگزینی ذرات

آب در بین ذرات خاک اصطکاک آن نیز از بین رفته و نمونه از هم پاشیده شده است. از طرفی وجود افزودنی در خاک وقتی که افزودنی جذب آب داشته، با متورم شدن در اثر جذب آب باعث بستن لوله‌های موئین شده است.

نتایج عددی

با توجه به نمودار شماره ۶، نتایج زیر به دست آمده‌اند:
نمونه‌های دارای افزودنی پوسته برنج، زمان بیشتری برای آب شستگی نیاز داشته‌اند. با افزایش درصد وزنی این افزودنی، دوام در برابر آب شستگی افزایش یافته است.

*تحلیل: از آنجا که پوسته برنج ذرات بسیار ریزی داشته، باعث ایجاد لوله‌های موئین کمتری شده و از طرفی با اشباع شدن پوسته برنج طبق جدول شماره ۵، چون جذب آب بالاتری داشته، باعث تورم و بسته شدن لوله‌های موئین شده است، از طرفی ذرات پوسته برنج چسبندگی و فعالیت رس را کاهش داده‌اند و باعث دیرتر اشباع شدن نمونه‌ها شده‌اند و با افزایش درصد عملکرد مختل کردن چسبندگی رس و متورم شدن در اثر جذب رطوبت بیشتر شده است.

نام نمونه	مدت زمان دوام در برابر آب شستگی (min)
C	۲۵۵
C+S+G	۲۸۵
C+S+G+0/3W	۳۸۵
C+S+G+0/6W	۳۸۰
C+S+G+0/9W	۳۵۰
C+S+G+0/3P	۳۰۵
C+S+G+0/6P	۳۲۰
C+S+G+0/9P	۳۵۰
C+S+G+0/3Rh	۵۵۳
C+S+G+0/6Rh	۵۵۰
C+S+G+0/9Rh	۵۶۰
C+S+G+0/3St	۵۴۷
C+S+G+0/6St	۵۴۹
C+S+G+0/9St	۵۵۳

ج. ۱۱. مدت زمان دوام در برابر آب شستگی نمونه‌های با افزودنی طبیعی.

طرفی جنس آن به قسمی بوده که افزایش قابل توجهی در بستن لوله‌ها ناشی از تورم نداشته است.

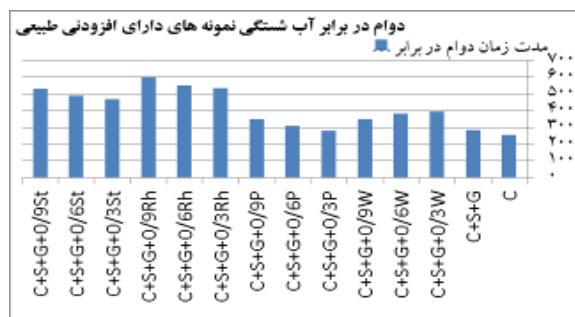
در نمونه‌های دارای افزودنی کاه، دوام در برابر آب شستگی پس از پوسته برنج بالا بوده و با افزایش درصد وزنی دوام در برابر آب شستگی بهبود یافته است.

* کاه از جنس الیاف بوده، لذا افزایش درصد آن باعث یکپارچه شدن نمونه شده، از طرفی پس از پوسته برنج، کاه جذب آب بالایی داشته و در نتیجه چون ساختار آن توخالی بوده، آب در داخل آن نفوذ کرده و باعث متورم شدن آن و در نتیجه بستن لوله‌های موئینه شده است.

نتایج آزمایش بلوك‌های خشتی استفاده شده در دیوار مقاومت فشاری هر یک از خشت‌ها تحت آزمایش فشاری با استفاده از جک هیدرولیکی و تغییر مکان سنج اندازه‌گیری شده است. برای به دست آوردن مقاومت فشاری بلوك‌ها، ۵ عدد از هر کدام از ابعاد، مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. نتایج مقاومت فشاری میانگین ۵ نمونه آزمایش شده برای مقاومت فشاری نیم خشت و خشت به ترتیب با ابعاد $22 \times 11 \times 7$ cm و $22 \times 22 \times 7$ cm در جداول شماره ۱۲ و ۱۳ نمایش داده شده است. مقاومت فشاری خشت‌های با ابعاد $22 \times 11 \times 7$ cm ۲۲×۲۲×۷ cm مقاومت فشاری خشت‌هایی با ابعاد $22 \times 22 \times 7$ cm می‌باشد، که یکی از دلایل آن سطح توزیع تنش کمتر و متفاوت بودن شکل نمونه‌های $22 \times 11 \times 7$ cm که به صورت مستطیل و نمونه‌های $22 \times 22 \times 7$ cm به صورت مربع می‌باشند.

$P=F/A$ (MPa)	F (kN)	سطح باربر			نیم خشت
		A (mm ²)	b (mm)	l (mm)	
۴/۳۷	۷۰/۰۴	۲۴۴۲۰	۱۱۱	۲۲۰	خشت
۳/۲۹	۹۴/۳	۲۳۸۷۱	۱۰۹	۲۱۹	نیم خشت

۱۲. مقاومت فشاری متوسط بلوك‌های معمولی ساخته شده برای ساخت دیوار.



۶. نمودار مقایسه بین زمان لازم برای آب شستگی در نمونه‌های دارای افزودنی طبیعی و نمونه معمولی و نمونه دارای رس تنها.

کمترین زمان لازم برای آب شستگی مربوط به نمونه‌های معمولی و دارای رس تنها و پس از آن نمونه‌های دارای الیاف خرما بوده است.

* نمونه‌هایی که هیچ افزودنی نداشته‌اند، رس عملکرد خود را انجام داده و نمونه را سریع اشباع کرده است. همانطور که باز هم در نتایج مشاهده شده نمونه دارای رس تنها از همه زودتر آب شسته شده که به دلیل لوله‌های مؤین بیشتر (که در هنگام خشک شدن ایجاد شده‌اند)، اشباع و کاهش چسبندگی، سریع‌تر بوده است و در نمونه دارای الیاف خرما، چون دارای افزودنی توپری بوده است، جذب آب کمتر و در نتیجه تورم کمتر داشته و باعث بستن لوله‌های مؤین نشده است. ولی از طرفی، الیاف بودن در ترکیب باعث خاصیت پل مانن، بین ترکیبات خاک شده و از پاشیدن نمونه جلوگیری کرده است. بهمین دلیل افزایش درصد وزنی الیاف خرما باعث دوام بیشتر نمونه در برابر آب شستگی شده است. در افزودنی دارای خرد چوب، با افزایش درصد وزنی خرد چوب، دوام در برابر آب شستگی کاهش یافته است. خرد چوب، با افزایش درصد وزنی خرد چوب چون نه الیاف بوده و نه پودر، شناسایی عملکرد آن پیچیده است. افزایش درصد وزنی خرد چوب، باعث افزایش لوله‌های موئینه شده است و از

برای آزمایش خمثی ملات‌های ساخته شده در قالب‌های $4 \times 4 \times 16\text{ cm}$ ریخته شده‌اند، به مدت ۲۴ ساعت در شرایط آزمایشگاهی در قالب باقی مانده، سپس از قالب خارج شده‌اند. پس از ۲۸ روز که در شرایط محیطی مورد نظر عمل آمدند با دستگاه مخصوص آزمایش مقاومت خمثی شکسته شده و مقاومت آن‌ها تعیین گردید. نتایج مقاومت خمثی ملات در جدول شماره ۱۵ نشان داده شده است. همان طور که در نتایج مشاهده می‌شود، در ابعاد مورد آزمایش کاه عملکرد خوبی از خود نشان نداده و با افروden کاه مقاومت خمثی کاهش یافته است. هر چه ابعاد نمونه‌ها افزایش پیدا کند، کاه در مقاومت فشاری و کششی تأثیر بیشتری از خود نشان می‌دهد و باعث افزایش مقاومت فشاری و کششی می‌شود، این نتایج در کار پیاتونی و همکاران مشاهده می‌شود [۱۶].

$P=F/A$ (MPa)	F (kN)	سطح باربر			.
		A (mm ²)	b (mm)	l (mm)	
۳/۶	۷۰/۰۴	۲۴۴۲۰	۱۱۱	۲۲۰	خشت
۲/۳۶	۹۴/۳	۲۳۸۷۱	۱۰۹	۲۱۹	نیم خشت

ج ۱۳. مقاومت فشاری متوسط بلوک‌های معمولی ساخته شده برای ساخت دیوار.

نتایج آزمایش بر روی انواع ملات

نتایج آزمایش مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های ۵ در ۵ سانتی متر در جدول شماره ۱۴ آورده شده است.

نوع ملات	مقاومت فشاری میانگین (MPa)
معمولی	۳/۲۹
دارای افزودنی کاه	۱/۹۱

ج ۱۴. نتایج مقاومت فشاری میانگین ملات.

نمودار تنش کرنش نمونه با ملات معمولی و ملات مسلح شده در نمودار شماره ۷ نمایش داده شده است. مقادیر ضریب ارتتجاعی از روی نمودار برای این



ت ۱۵. نمونه‌های ۵ تایی برای آزمایش فشاری.

نوع ملات	شماره نمونه	مقادیر فشاری میانگین به دست آمده MPa
ملات ساده	۱	۰/۵۹
ملات کاه	۲	۰/۶۵

ج ۱۶. میانگین مقاومت فشاری نمونه‌های ۵ تایی.

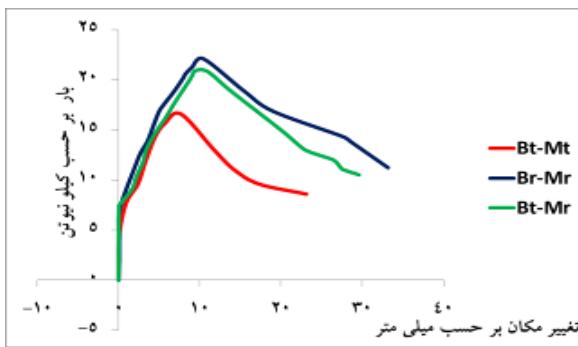
آزمایش خمثی

در این روش مقاومت کشش با انجام آزمایش خمثی بر روی سه منشور ساخته شده برای هر نوع از خشت‌ها

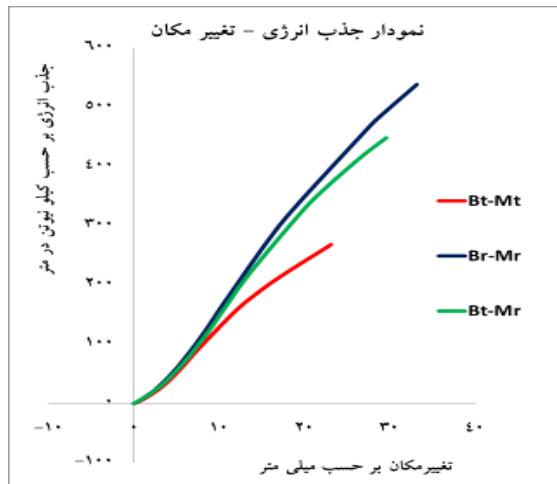
نتایج آزمایش بر روی انواع دیوار

منحنی بار-تغییر مکان به صورت میانگین برای دیوارهای خشتشی در نمودار شماره ۸ نشان داده شده است.

نمودار جذب انرژی-تغییر مکان^{۱۰} دیوارهای خشتشی که جذب انرژی به عنوان تابعی از تغییر مکان می‌باشد، در نمودار شماره ۹ نمایش داده شده است. در نمودار شماره ۱۰ نمودار مقایسه‌ای بین جذب انرژی نهایی دیوار شاهد، دارای ملات تقویت شده و دارای بلوك و ملات تقویت شده، نشان داده شده است.



ن ۸. میانگین نمودار بار-تغییر مکان دیوارهای خشتشی.



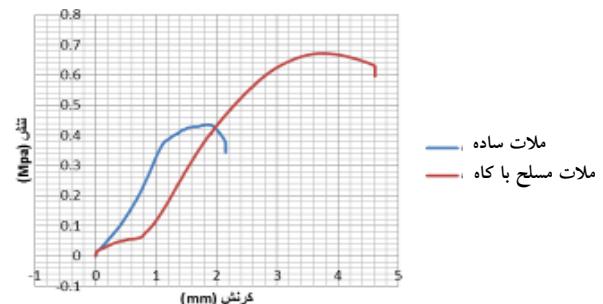
ن ۹. نمودار جذب انرژی-تغییر مکان دیوارهای خشتشی.

حضور الیاف تغییر قابل ملاحظه‌ای در پاسخ الاستیک و مقاومت اولیه تا رسیدن به ترک ایجاد نکرده، ولی

و ملات مطابق تصویر شماره ۱۶ تحت بارگذاری نشان داده شده، تعیین گردید. برای این تست ۶ عدد خشت استفاده شده است. نتایج آزمایش برای خشت تقویت شده در جدول شماره ۱۸ آورده شده است.



ت ۱۶. آزمایش خشمی بر روی نمونه‌های منشوری ساخته با ۶ ردیف خشت



ن ۷. نمودار تنش - کرنش نمونه ملات‌ها.

نتایج آزمایش برشی

نمونه	بار حدی P (kN)	تنش برشی (Mpa)	تنش فشاری (Mpa)	ضریب اصطکاک داخلی	زاویه اصطکاک داخلی
ملات ساده	۳۴/۰۷۶	۰/۴۹۸	۰/۸۴۹	۰/۹۹۹۸۹	۴۴/۹۹۷۷
ملات کاه	۳۸/۶۹۶	۰/۵۶۷	۰/۵۶۷	۰/۹۹۹۸۵	۴۴/۹۹۵۶

ج ۱۷. میانگین نتایج به دست آمده از تست برشی.

نمونه	P (N)	d (mm)	گشتاور (N.mm)	تنش کششی (Mpa)
ملات ساده	۱۳	۱۵۰	۹۷۵	۰/۰۰۲۲
ملات کاه	۱۴	۱۵۰	۹۷۵	۰/۰۰۲۴

ج ۱۸. میانگین نتایج آزمایش تیر خشمی مصالح بنایی خشت تقویت شده.

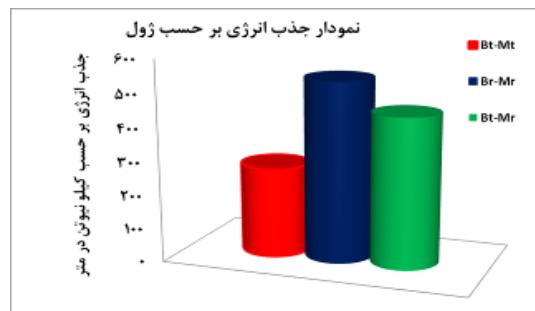


ت ۱۸. ترک‌های ایجاد شده در دیوار خشتی با ملات ساده پس از آزمایش کشش قدری.

در آزمایش کشش قدری در همه نمونه‌ها، شکست دیوار از ملات رخ داده که نشان‌دهنده این است که ملات ضعیف‌ترین قسمت دیوارهای خشتی می‌باشد. در دیوار با ملات ساده ترک در راستای ملات ایجاد شده، این ترک در راستای ضعیف‌ترین ملات ایجاد شده است. این ترک در تصویر شماره ۱۸ نشان داده شده است. ترک‌های ایجاد شده در دیوار با ملات کاهگل در تصویر شماره ۱۹ آورده شده است. در نمونه‌های دارای ملات تقویت‌شده با کاه دیوار ملات عملکرد بهتری داشته و ترک‌های بیشتر و با عمق کمتر در دیوار ایجاد شده است. الیاف کاه در ملات از انقباض خاک رس جلوگیری کرده و از ایجاد ترک‌های عمیق و زیاد در ملات جلوگیری می‌کند. همان‌طور که در نمودارها مشاهده می‌شود رفتار هر دو دیوار در قسمت الاستیک یکسان است. بنابر قانون موهر-کلمب رفتار بررشی وابسته به دو پارامتر چسبندگی و اصطکاک می‌باشد. در ملات کاهگل اصطکاک بیشتر به خاطر وجود الیاف کاه ایجاد شده است، چون الیاف کاه دارای چسبندگی نمی‌باشند.

در مقابل تا حد زیادی مقاومت پس از ترک اولیه، شکل‌پذیری و انرژی جذب شده نمونه‌های دارای الیاف بهبود یافته است که این نتایج با مرجع [۲۱] نیز همخوانی دارد.

در نمونه‌های تقویت شده با الیاف، افت پس از نقطه اوج کمتر است و رفتار شکننده شن و ماسه تا حدودی انعطاف‌پذیرتر شده است [۱۶].



ن ۱۰. نمودار مقایسه جذب انرژی دیوارهای خشتی.

در دیوارهایی که از ملات گل استفاده شده بعد از شکست دیوار ملات به دلیل انقباض خاک رس و از دست دادن آب چهار ترک‌هایی زیادی شده است، به‌طوری که ملات به قطعات کوچکتری از ۲ تا ۸ سانتی‌متر تقسیم شده است (تصویر شماره ۱۸). ملات کاهگل نسبت به ملات معمولی ترک‌های کمتر مشاهده می‌شود که کاه تا حدودی از انقباض خاک رس جلوگیری می‌کند و مانع ایجاد ترک در ملات می‌شود (تصویر شماره ۱۷).



ت ۱۷. الف- ملات گل ب- ملات کاهگل.

افزودن خرده چوب به ترکیب شن، ماسه و رس باعث افزایش ۷ درصدی در مقاومت فشاری، افزایش ۱۶ درصدی در کرنش نهایی و افزایش ۳۹ درصدی در مدت زمان دوام در برابر آب‌شستگی، نسبت به نمونه دارای ترکیب شن، ماسه و رس شده است.

افزودن الیاف خرماء به ترکیب شن، ماسه و رس باعث افزایش ۱۵۶ درصدی در مقاومت فشاری، افزایش ۶۲/۵ درصدی در کرنش نهایی و افزایش ۲۳ درصدی در مدت زمان دوام در برابر آب‌شستگی نسبت به نمونه دارای ترکیب شن، ماسه و رس شده است.

افزودن پوسته برنج به ترکیب شن، ماسه و رس باعث کاهش ۴۱ درصدی در مقاومت فشاری، کاهش ۶۶ درصدی در کرنش نهایی و افزایش ۱۱۱ درصدی در مدت زمان دوام در برابر آب‌شستگی نسبت به نمونه دارای ترکیب شن، ماسه و رس شده است.

افزودن کاه به ترکیب شن، ماسه و رس باعث افزایش ۳۵ درصدی در مقاومت فشاری، افزایش ۶۲/۵ درصدی در کرنش نهایی و افزایش ۸۶ درصدی در مدت زمان دوام در برابر آب‌شستگی نسبت به نمونه دارای ترکیب شن، ماسه و رس شده است.

به طور کلی با افزودن افروندنی‌های طبیعی به ترکیب شن، ماسه و رس، مدت زمان دوام در برابر آب‌شستگی افزایش یافته است.

در بررسی نتایج دیوارهای موارد زیر به دست آمده‌اند: دیوارها از قسمت ملات کاه خورده‌اند لذا ضعیف‌ترین بخش دیوار خشتی ملات آن بوده است.

- با تقویت ملات دیوار خشتی نیروی نهایی آن ۲۵/۹۶٪، تغییر مکان نهایی آن ۰/۰۸٪ و جذب انرژی آن ۶۷/۲۸٪ نسبت به دیوار شاهد افزایش یافته است.
- با تقویت توازن بلوك و ملات دیوار خشتی نیروی نهایی آن ۰/۵٪، تغییر مکان نهایی آن ۰/۰۷٪ و جذب

و در صورت استفاده از الیاف، تأثیر خاک رس که به عنوان ماده چسبنده می‌باشد کاهش می‌یابد، در نتیجه حضور الیاف کاه باعث افزایش اصطکاک در ملات کاه‌گل و افزایش مقاومت و شکل‌پذیری در دیوار شده است.



ت ۱۹. ترک‌های ایجاد شده در دیوار خشتی با ملات کاه‌گل پس از آزمایش کشش قطري.

نمونه	Br-Mr	Bt-Mr	Bt-Mt
نیروی ماکریم Kn	۲۲/۱۱	۲۰/۹۱	۱۶/۶
تغییر مکان در نیروی ماکریم mm	۱۰/۴۱	۹/۴۲	۷/۶۵
تغییر مکان ماکریم mm	۳۳/۱۶	۲۹/۰۹	۲۳/۱
سختی N/mm	۲۱۲۴/۱	۲۲۱۹/۷۵	۲۱۷۰
شكل پذیری	۳/۱۹	۳/۱۴	۳/۰۲
نیروی کششی ماکریم (MPa)	۰/۰۶	۰/۰۵۹	۰/۰۴
انرژی جذب شده (J)	۴۴۹	۵۳۸/۵	۲۶۸

ج ۱۹. میانگین نتایج آزمایش دیوارهای خشتی.

نتیجه

افزودن الیاف خرماء و کاه باعث جلوگیری از ایجاد ترک‌های عمیق شده است. افزودن شن و ماسه به ترکیب خشت باعث افزایش ۶۴ درصدی در مقاومت فشاری، افزایش ۸۴ درصدی در کرنش نهایی و افزایش ۱۲ درصدی در مدت زمان دوام در برابر آب‌شستگی شده است.

پی‌نوشت

انرژی آن ۲۰/۰۵٪ نسبت به دیواری که فقط ملات آن تقویت شده، افزایش یافته است.

۳. با تقویت توأم بلوک و ملات دیوار خشتمی نیروی نهایی آن ۴۳/۵۳٪، تغییر مکان نهایی آن ۱۳۳/۲٪، جذب انرژی آن ۱۰۰/۸۲٪ نسبت به دیوار شاهد افزایش یافته است.

لذا می‌توان با افزودن افزودنی‌های طبیعی کاه و لیف خرما به ملات و خشتم، خواص مکانیکی دیوار خشتمی را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داد.

۱. Blondet،

۲. Dowling،

۳. طبقه بندي سيستم متجل، USCS

۴. دیتالاگر، Data Logger

۵. جک هیدرولیک، Jack

۶. نیروسنجه، Loadcell

۷. مکانسنج، LVDT

۸. پیاتونی، Piattoni

۹. آیمریچ، Aymerich

۱۰. نمودار جذب انرژی از محاسبه سطح زیر نمودار بار تغییر مکان حاصل شده است.

فهرست منابع

- میرگذار لنگرودی، میرعلی محمد؛ سیده صدیقه میرگذار لنگرودی و اکبر رجبی کنف گورابی، ۱۳۸۷، مقاومسازی ساختمان‌های خشتمی و گلی در مقابل زلزله، همایش ملی مقاومسازی ایران، دانشگاه یزد.

- Turanli, L, Erdogan TY. Improving the mechanical properties of adobe blocks used in low-cost rural housing. In: XXIVth IAHS world housing congress, Ankara, Turkey; 1996.

- Revuelta-Acosta, JD, Garcia-Diaz A, Soto-Zarazua GM, Rico-Garcia E. Adobe as asustainable material: a thermal performance. 2010;10(19):2211–6.

- Binici, H, Aksogan O, Bakbak D, Kaplan H, Isik B. Sound insulation of fibre reinforced mud brick walls. Construct Build Mater 2009;23(2):1035–41.

- Tolles, LE, Krawinkler H. Seismic studies on small-scale models on adobe houses. Stanford: The John A. Blume Earthquake Engineering Center; 1990.