

استفاده از مواد گیاهی در صنعت ساختمان مورد مطالعه: نی

* مهندس عزت اله تقی زاده قهپی

تاریخ دریافت مقاله: ۸۲/ ۹ / ۲

تاریخ پذیرش نهایی: ۸۳ / ۲ / ۲

چکیده:

در سال های اخیر برای جلوگیری از اتلاف انرژی از یک طرف و کاهش خسارت های ناشی از زلزله از طرف دیگر، در به کارگیری مصالح غیر سازه ای در ساختمان ها، دو ویژگی مهم سبکی و عایق حرارتی مد نظر می باشد. به همین دلیل کاربرد قطعات و صفحات ساخته شده از گچ، الیاف معدنی (پشم شیشه، پشم سنگ و ...)، مواد گیاهی، بتن گازی، پلی استایرن (یونولیت) و ... علی رغم محدودیت های مختلف، توسعه یافته است.

در این مقاله سعی گردیده است، خواص، ویژگی ها و دامنه کاربرد مصالح ساختمانی تهیه شده از گیاه نی بررسی و ارزیابی گردد. در این مقاله با نشان دادن استفاده از نی بافته شده به دلیل مقاومت حرارتی، سبکی وزن، قیمت، راندمان و تولید در شرایط آب و هوایی مختلف، بر امکان استفاده گسترده از آن در صنعت ساختمان و بر ضرورت مطالعات تکمیلی تأکید شده است.

واژه های کلیدی:

مصالح ساختمانی، عایق حرارتی، عایق صوتی، سبکی، مواد گیاهی، نی.

E-mail: taghizad@ut.ac.ir.

* عضو هیئت علمی گروه آموزشی معماری، دانشکده هنرهای زیبا، دانشگاه تهران.

مقدمه:

گچی و سیاف معدنی (پشم سنگ، پشم شیشه و ...) نیز بدون استفاده و کمک سایر مصالح دارای ایستایی لازم نیستند.

از دیدگاه صرفه جویی در مصرف انرژی و حفظ محیط زیست که امروزه در سراسر جهان مورد توجه جدی قرار گرفته است، مصالحی در اولویت قرار دارند که علاوه بر ویژگی های فنی مورد نظر، در تهیه مواد اولیه، فرایند تولید، حمل و نقل، دوره ساخت، بهره برداری و تخریب ساختمان دارای کمترین میزان مصرف انرژی و آلودگی های زیست محیطی باشند^۱. با توجه به سابقه طولانی کاربرد مواد گیاهی و به خصوص نی در ساختمان سازی به نظر می رسد استفاده از گیاه نی به عنوان مصالح ساختمانی، دارای مزیت های نسبی بیشتری نسبت به سایر مصالح با عملکردهای مشابه باشد. برای دستیابی به مزیت های نسبی و دامنه کاربرد گیاه نی به عنوان مصالح ساختمانی، مقررات ملی ساختمان، مطالعات به عمل آمده در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، استانداردها و سایر منابع داخلی و خارجی از یک طرف و همچنین کاربرد گیاه نی در خانه سازی مناطق نفت خیز جنوب، ساختمان های پردیس مرکزی دانشگاه تهران، پل یادگار امام و ویلا سازی اطراف رودهن و کلاردشت از طرف دیگر مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

در این مقاله با اتکا به مطالعات کتابخانه ای و میدانی به عمل آمده فوق، سعی شده است به طور اجمال خواص، ویژگی ها و دامنه کاربرد این مصالح مورد بررسی اولیه قرار گرفته و این دو نکته که اولاً آیا امکان استفاده گسترده از مواد گیاهی و به خصوص نی در ساختمان سازی وجود دارد یا خیر و ثانیاً ضرورت انجام مطالعات و پژوهش های کاربردی و آزمایشگاهی برای دستیابی به خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی آن مورد بررسی قرار گیرد.

مصالح مورد استفاده در ساختمان ممکن است دارای یک یا چند نقش مهم " سازه ای، جدا کننده، عایق حرارتی، عایق صوتی، عایق رطوبتی، تزئینی و ... " باشد. در مواردی که منظور از کاربرد مصالح، عملکرد ویژه ای آن نیست و سایر عملکردهای آن مورد نظر است، کاهش وزن در واحد حجم (سبکی) یکی از مزیت های اصلی در انتخاب مصالح می باشد. چسبندگی و سازگاری با مصالح پوششی و همجواری مقاومت در برابر آتش منضاعد نمودن گازهای سمی در موقع آتش سوزی، مخاطره آمیز نبودن آن برای سلامتی کارگران در حین ساخت و نصب از دیگر مشخصه های اصلی مصالح انتخابی است. مصالح انتخابی علاوه بر ویژگی و مزیت های فنی مورد نظر باید از نظر هزینه و سهولت در اجرا نیز دارای مزیت های اقتصادی لازم باشد. در انتخاب مصالح برای عملکردهای غیر سازه ای، مصالحی دارای صرفه اقتصادی است که علاوه بر ویژگی اصلی مورد نظر، هر چه بیشتر سایر ویژگی ها را نیز پوشش دهد.

در سال های اخیر با تأکید بر اجرای استاندارد ۲۸۰۰ و مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، سبکی و مقاومت حرارتی مصالح مورد استفاده در جدارهای خارجی ساختمان مورد توجه طراحان و مجریان ساختمان ها قرار گرفته است. علیرغم اینکه از کاربرد بلوک های بتن گازی (با نام های تجاری مختلف) در ایران بیش از دو دهه می گذرد و به طور گسترده استفاده می شوند، این بلوک ها هنوز استاندارد نشده و چسبندگی و سازگاری آنها با مصالح پوششی مورد تردید می باشد. کاربرد بلوک های سقفی پلی استایرن (یونولیت) نیز که اخیراً به سرعت رواج یافته است؛ علیرغم سبکی و سرعت اجرای بالا دارای دو مشکل چسبندگی با مصالح پوششی و مقاومت در مقابل حریق است. مصالحی از قبیل تخته های

تاریخچه

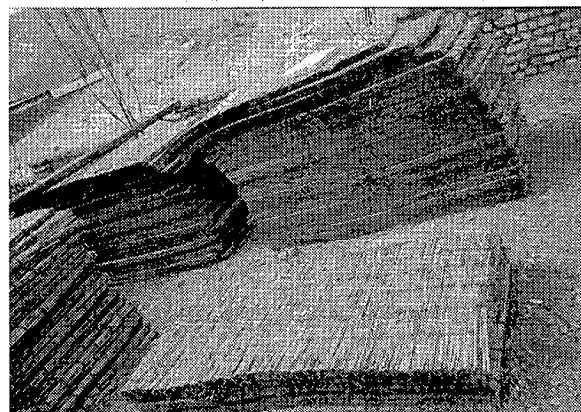
در بسیاری از نقاط جهان برای پوشش سقف ساختمان های قدیمی و سنتی از مواد گیاهی نظیر برگ درخت خرما، نی مرزبان و یا نی معمولی و ... استفاده شده است. به صورت تاریخی صحبت کردن از این نوع پوشش مترادف و پیوسته با چوب های سقف یا سقف های چوبی است، که از مصالح پایه و اصلی ساختمان بوده و به وسیله مواد جامد غیر ارگانیک نظیر سنگ، آجر، بتن، ورق های فولادی ساخته شده در کارخانه و ...

جایگزین گردیده است.^۲ این نوع پوشش هم اکنون نیز در بسیاری از نقاط توسعه یافته جهان، به دلیل عایق حرارتی، عایق صوتی، سبکی وزن، انعطاف پذیری و صرفه اقتصادی مورد استفاده قرار می گیرد.

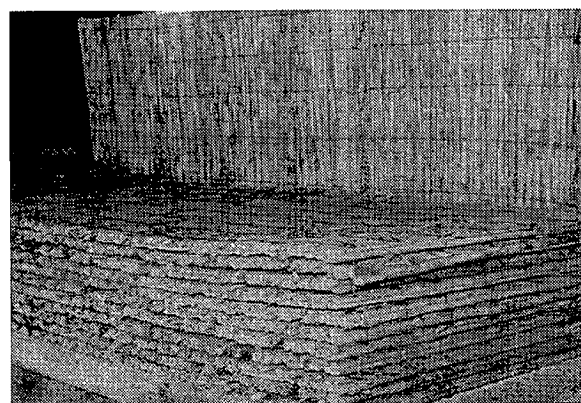
در آثار به دست آمده از طاق های ساخته شده در بین النهرین و نیز ساختمان های هخامنشی در شوش و تخت جمشید، از نی و مصالح گیاهی دیگر برای پوشاندن فواصل بین

نحوه تولید و شکل صفحات و قطعات بافته شده نی

این صفحات هم‌انگونه که در تصاویر ۱ و ۲ دیده می‌شود؛ از نی که به هم فشرده و توسط سیم‌های فلزی گالوانیزه بافته می‌شوند، تشکیل شده‌اند. ابعاد این صفحات (طول، عرض و ضخامت) متغیر است. بسته به کاربرد، امکان تولید ضخامت‌های ۲۵ میلی‌متر تا ۱۰۰ میلی‌متر در چند ردیف و به صورت فشرده (ماشینی) و یا به ضخامت حدود ۱۵ میلی‌متر در یک ردیف (نی کامل و بیست‌نی نصف شده مانند حصیر بافی) و طول‌های ۲۸۰۰-۲۴۰۰ میلی‌متر و عرض‌های ۱۵۰۰-۵۵۰ میلی‌متر (به صورت دستی و یا ماشینی) وجود



تصویر ۱ - قطعات بافته شده از نی مرداب



تصویر ۲ - قطعات بافته شده از نی دست‌کاشت

تیرچه‌ها استفاده شده است. در هنگام ساختن سقف، روی مصالح گیاهی لایه‌ای از گل قرار می‌دهند^۲. این روش‌ها هم اکنون نیز در بعضی از مناطق روستایی ایران مرسوم است. در احداث ساختمان‌های پردیس مرکزی دانشگاه تهران از نی بافته شده (در یک لایه) برای سقف کاذب و قالب بتن به صورت گسترده استفاده شده است.

در سال‌های اخیر با انگیزه استفاده از خواص سازه‌ای و مقاومت حرارتی در ویلاسازی‌های اطراف رودهن و کلاردشت از صفحات بافته شده از نی استفاده شده است.

صفحات بافته و یا فشرده شده از نی از حدود ۷۰ سال پیش در خانه‌سازی شرکت نفت در خوزستان به عنوان سقف‌های کاذب و عایق حرارت مورد استفاده قرار گرفته است. حدود ۴۰ سال پیش در خوزستان اولین کارخانه تولید صفحات نی به هم فشرده به نام کانتکس و دومین کارخانه نیز در حدود ۱۰ سال پیش در شمال ایران دایر گردیده است.

منابع و مواد اولیه

مواد گیاهی (به غیر از چوب) مورد استفاده در ساختمان شامل: ضایعات چوب، الیاف کتان، الیاف کناف، الیاف نارگیل، چوب پنبه، برگ درخت خرما، گیاهان هم خانواده با گندم یا ساقه‌های تو خالی، بند بند و نرم و گیاهان هم خانواده با گندم یا ساقه‌های تو خالی، بند بند و سخت (از قبیل نی مرداب و نی معمولی) می‌باشند^۳.

از مهم‌ترین و با دوام‌ترین این گیاهان نی (مرداب و معمولی) است که هم به صورت طبیعی و خودرو و هم به صورت گیاه دست‌کاشت مورد استفاده قرار می‌گیرد. نی مرداب به علت دوام و همچنین رویش خودرو در زمین‌های باتلاقی در رقابت با سایر گیاهان آبیزی موفق‌تر است و احتیاج به کود و سایر مواد مغذی ندارد^۵. در ایران مهم‌ترین رویشگاه‌های نی مرداب تالاب‌های شادگان و هور العظیم در خوزستان می‌باشند. نی معمولی به صورت دست‌کاشت در اکثر نقاط ایران قابل کشت است و آن را در بین مزارع به صورت بادشکن کشت می‌کنند. مشخصات اولیه گیاه مناسب برای تهیه صفحات و قطعات مصالح گیاهی نی عبارت است از:

۱- طول ساقه بین ۱۰۰۰ میلی‌متر تا ۲۸۰۰ میلی‌متر،

قطر ساقه بین ۵ میلی‌متر تا ۱۵ میلی‌متر.

۲- مقاومت ساقه باید به حدی باشد که در زیر فشار

انگشتان دست خرد نشود.

۳- انعطاف پذیری ساقه نباید آنقدر کم باشد که موقع

خشک شدن و در موقع کار کردن و بستن بشکند^۶.

خواص و ویژگی های صفحات بافته شده نی

صفحات بافته شده نی یک مصالح پوششی چند منظوره است که دارای خواص و ویژگی های متعددی به شرح زیر می باشد.

۱- **عایق حرارتی**: صفحات بافته شده نی در مقابل تغییرات زیاد درجه حرارت، عایق بسیار خوبی است به طوری که مقاومت حرارتی این صفحات یک دوم تا دو سوم مقاومت حرارتی پتوی الیاف معدنی می باشد^۸. بدین منظور در خانه سازی های شرکت نفت در جنوب از صفحات نی بافت به طور گسترده استفاده شده است.

۲- **عایق صوتی**: این صفحات از ساقه های نی مرداب یا معمولی که در کنار هم فشرده و بسته شده اند تشکیل شده است و لذا با توجه به فضای داخلی نی ها و لایه سخت رویه آنها و در صورتی که دو طرف آنها اندود گردد، انتقال صدا به میزان قابل توجهی کاهش می یابد.

۳- **سبکی وزن**: صفحات مصالح گیاهی دارای وزن مخصوص کمی هستند، مقدار آن با توجه به نوع گیاه متغیر است. سنگین ترین آنها از نی با وزن مخصوص حدود ۲۰۰ (۲۵۰-۱۷۵) کیلوگرم بر متر مکعب می باشد^۹.

۴- **مقاومت**: مقاومت صفحات الیاف گیاهی بستگی به مقاومت ساقه گیاه دارد. در صفحاتی که از نی مرداب و معمولی استفاده می شود، حدود ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مربع فشار وارده تحمل می گردد.

۵- **انعطاف پذیری و توان خمشی**: صفحات نی بافت از جهت طولی قابل انعطاف است و به راحتی می توان از آن در قوس های ملایم استفاده کرد. در صورت نمناک کردن و تحت فشار قرار دادن در جهت عرضی نیز می توان آن را در قوس به کار برد. انعطاف پذیری این صفحات به حدی است که علاوه بر این که در حمل و نقل و نصب به آن خسارتی وارد نمی شود در کاربرد آن در سقف های کاذب، جدا کننده ها و قالب بتن نیز محدودیتی ایجاد نمی شود. حداقل توان خمشی این صفحات حدود ۰/۱۸-۰/۵ مگا پاسگال می باشد^{۱۰}.

۶- **سازگاری و چسبندگی با اندودهای مختلف**: صفحات نی بافت به گونه ای است که اندود های مختلف به خوبی با این صفحات درگیر می شوند و در نتیجه برای ایجاد چسبندگی و یکپارچگی برخلاف سایر مصالح با عملکرد مشابه، نیازی به استفاده از تور سیمی، رابیتس و یا قطعات پوششی دیگر نمی باشد.

۷- **صرفه جویی در مصرف انرژی و حفظ محیط زیست**: صفحات نی بافت در فرایند تولید (مواد اولیه و ...) و کاربرد دارای عوارض زیست محیطی بسیار کمی در مقایسه با سایر مصالح با عملکرد مشابه از قبیل الیاف معدنی،

پلی استایرن و ... می باشد. سایر مصالح مانند الیاف معدنی ضمن مصرف سوخت و آلودگی قابل توجه هوا در فرایند تولید، سلامتی کارگران در موقع ساخت و نصب نیز در معرض خطر قرار دارد^{۱۱}.

۸- **سرمایه گذاری اولیه و هزینه تولید**: ماده اولیه برای تولید صفحات نی بافته شده، نی مرداب یا معمولی است که گیاهی یک ساله است و از زمین های باتلاقی و کم بازده به صورت خودرو یا دست کاشت برداشت می شود. برخلاف سایر مصالح مشابه احتیاج به سرمایه گذاری اولیه خیلی زیاد و تکنولوژی پیشرفته ندارد و با هزینه بسیار کم تولید می شود و باعث افزایش درآمد محلی می گردد.

۹- **مقاومت در مقابل آتش**: اصولاً صفحات الیاف گیاهی قابل اشتعال هستند، ولی در صفحات نی بافت با توجه به رویه سیلیسی نی سرعت انتشار شعله آتش کم است. در صورت پوشاندن این صفحات با اندودهای سیمانی و گچی، مقاومت در مقابل آتش آنها به مقدار قابل قبولی افزایش می یابد.

۱۰- **مقاومت در مقابل حشرات و سایر آفت ها**: صفحات مصالح گیاهی (نی بافته شده) معمولاً می توانند لانه حشرات، مخصوصاً مورخانه ها قرار گیرند. برای جلوگیری از نفوذ حشرات بهترین کار اندود کردن کامل این صفحات و مسدود کردن راه سرایت حشرات است. با توجه به مطالعات و بررسی های به عمل آمده، مورخانه در داخل بعضی از سقف های کاذب اجرا شده در مناطق نفت خیز جنوب نفوذ ولی با توجه به رویه سیلیسی و تار و پوده های داخلی نی، مورد تغذیه آنها قرار نگرفته است. برای جلوگیری از نفوذ مورخانه در پروژه خانه سازی ۲۰۰ دستگاه ویلایی امیدیه، صفحات بافته شده از نی قبل از نصب چند ساعت در استخر محلول سم گیاهی نگهداری گردیدند.

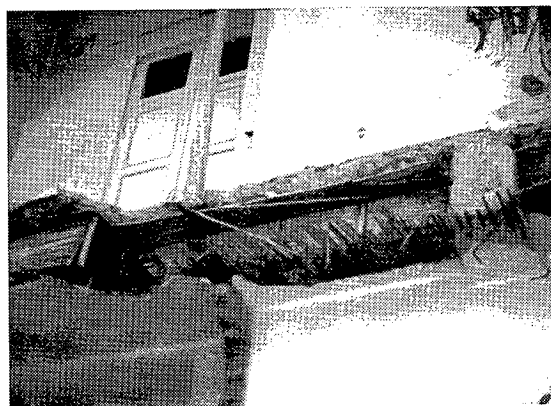
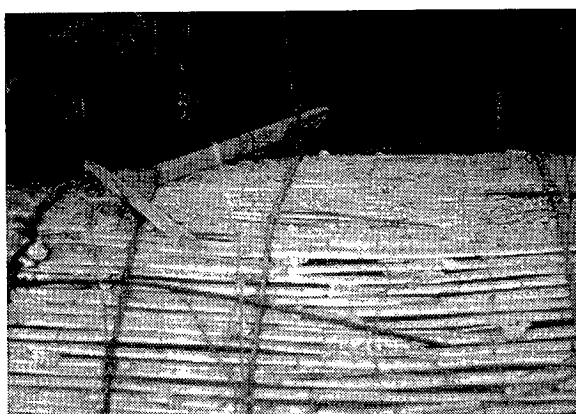
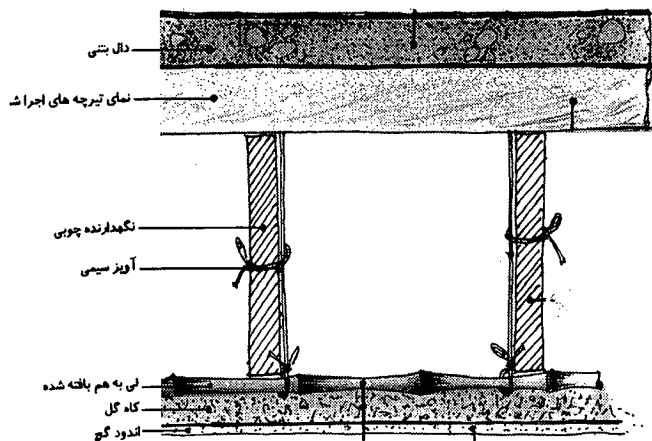
۱۱- **اتصالات**: صفحات الیاف گیاهی تولید شده از نی را نمی توان برای ایجاد صفحات بزرگتر و به صورت یک پارچه به یکدیگر متصل نمود، ولی برای افزایش ضخامت می توان آنها را روی هم قرار داد.

کاربرد و موارد استفاده از نی

همانگونه که در تاریخچه آمده است، نی از دیرباز در صنعت ساختمان (با عملکرد متفاوت) مورد استفاده قرار گرفته است. از میان کاربردهای مختلف آن، کاربرد آن در ساختمان های پردیس مرکزی دانشگاه تهران، ویلا سازی اطراف رودهن و کلاردشت، خانه سازی در مناطق نفت خیز جنوب و پل یادگار امام مورد بررسی قرار گرفت؛ در زیر عملکردهای متفاوت نی در این ساختمان ها مورد بررسی قرار گرفته است.

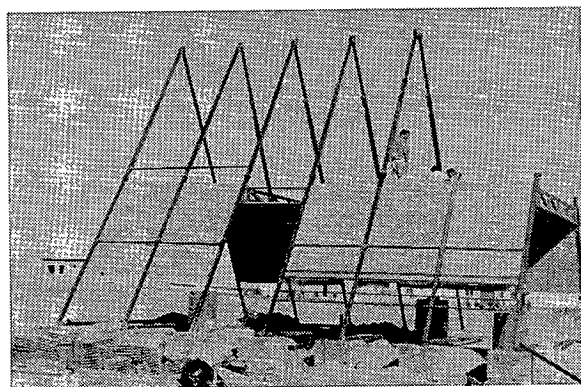
۱- سقف‌های کاذب و جدا کننده‌ها

همانگونه که قبلاً ذکر شد یکی از کاربردهای اصلی صفحات ساخته شده از نی در سقف کاذب می باشد. در ساختمان‌های با سقف شیب دار از سازه نگهدارنده سقف استفاده شده و یک شبکه فلزی یا چوبی از زیر به سازه خرپا متصل می گردد و صفحات بافته شده از نی در داخل این شبکه قرار می گیرد. این صفحات از بالا با دوغ آب گچ و از زیر با ملات گچ اندود می شود. این روش با هدف اصلی عایق حرارتی در خانه سازی منازل شرکت نفت در جنوب اجرا شده است. نحوه دیگر استفاده از این صفحات سقف کاذبی است که در ساختمان های پردیس مرکزی دانشگاه تهران اجرا شده است. همانگونه که در تصاویر ۳ دیده می شود در این روش یک صفحه بافته شده از نی (یک ردیف نی با قطر کامل و یا نصف شده) به ضخامت حدود ۱۵ میلی متر با مفتول‌های فولادی به سقف اصلی متصل گردیده و از حرکت و تغییر شکل مفتول ها به کمک چوب های چهار تراش جلوگیری شده است.



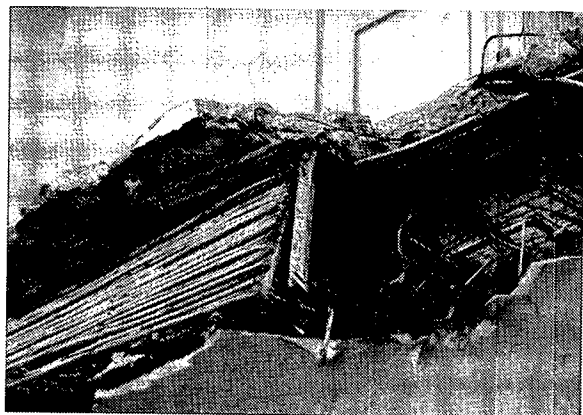
تصاویر ۳ - کاربرد نی در سقف های کاذب پردیس مرکزی دانشگاه تهران

۲- استفاده از صفحات نی بافته شده به عنوان جزئی از سقف

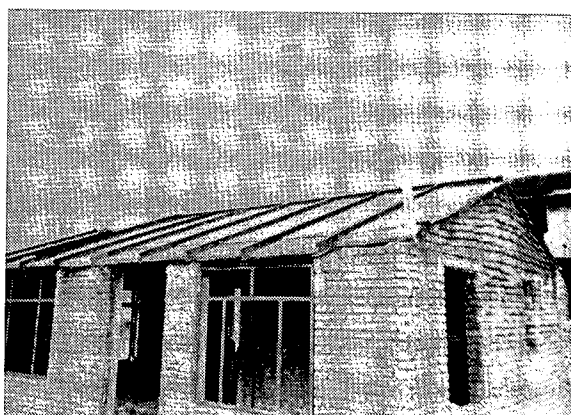


کاربرد این صفحات در پوشش زیرین سقف به عنوان عایق حرارتی و با قابلیت اندود بسیار خوب می باشد. پوشش رویه سقف شیبدار (که عموماً نقش عمده آن عایق رطوبتی است) از جنس سفال، ایرانیت و یا ورق فولادی است. در تصویر ۴ کاربرد این صفحات در ویلا سازی در منطقه کلاردشت دیده می شود. کاربرد دیگری در شهرک سازی ویلایی اطراف رودهن مشاهده گردید. همانگونه که در تصویر ۵ دیده می شود در این روش صفحات نی بافت به عنوان عایق حرارتی، قالب بتن و قسمتی از سقف سازه ای به کار رفته است.

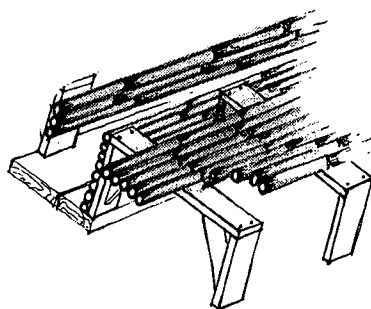
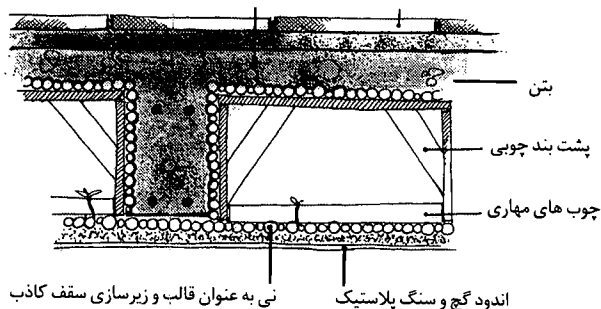
تصویر ۴ - صفحات بافته شده از نی به عنوان جزئی از سقف و عایق حرارتی



تصویر ۶- جزئیات قالب نی در ساختمانهای پردیس مرکزی دانشگاه تهران



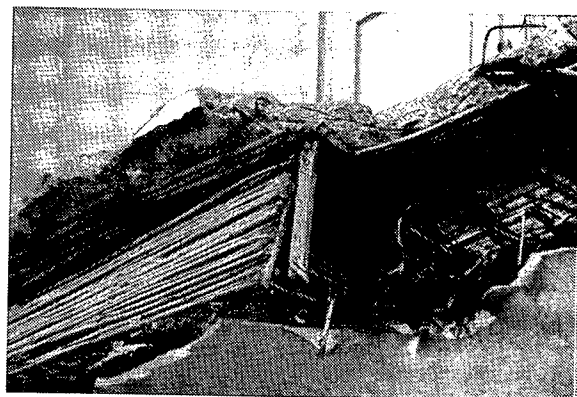
تصویر ۵- صفحات بافته شده از نی به عنوان جزئی از سقف، قالب بتن و عایق حرارتی



تصاویر ۶- جزئیات قالب نی در ساختمانهای پردیس مرکزی دانشگاه تهران



تصویر ۸- قالب بتن با نی به صورت قالب گم در پل یادگار امام



تصویر ۷- قالب بتن با نی در پردیس مرکزی دانشگاه تهران

۴- استفاده به عنوان قالب بتن

این صفحات برای قالب بتن به صورت یکبار مصرف استفاده می شود و باعث صرفه جویی زیادی در مصرف چوب (که یک گیاه با رویش چند ده ساله است) می گردد. بتن ریزی با استفاده از این نوع قالب باعث تأمین چسبندگی بسیار خوب (که یکی از

۳- استفاده از صفحات نی بافته شده به عنوان جزی از دیوار جدا کننده

در دیوارهای جدا کننده اعم از داخلی و خارجی این قطعات داخل شاسی فولادی و یا چوبی (که برای این منظور ساخته شده است) قرار گرفته و دو طرف آن به وسیله اندود گچ یا سیمان پوشیده می شود.

هایی از ساختمان های پردیس مرکزی دانشگاه تهران و اخیراً در بتن ریزی پل یادگار امام به صورت قالب گم از این صفحات استفاده شده است. (شکل های ۶ و ۷ و ۸).

مشکلات سطوح بتنی است) بین بتن، قالب و اندود نازک کاری می گردد. دیوارها و سقف های بتنی که با استفاده از این نوع قالب ساخته می شوند، عایق بسیار خوبی در مقابل انتقال حرارت و صوت نیز می باشند. در گذشته در بتن ریزی قسمت

نتیجه گیری

استفاده نمود. در صورت استفاده به عنوان عایق احتیاج به سایر مصالح برای تأمین پایداری و چسبندگی با مصالح رویه و اندودها ندارد. این مصالح اگر چه به نظر سنتی است ولی با استاندارد نمودن آن ها از نظر وزن مخصوص، ضریب هدایت حرارتی، ضریب جذب صوتی، مقاومت در مقابل آتش، قابلیت جذب آب، مقاومت در مقابل حمله حشرات، چسبندگی و سازگاری با دیگر مصالح و همچنین جزئیات اجرایی می تواند در ساختمان های مدرن امروزی نیز کاربرد زیادی داشته باشد.

استفاده از نی در صنعت ساختمان، از لحاظ فنی و بخصوص صرفه جویی در مصرف انرژی و حفظ محیط زیست دارای امتیازات ویژه ای است. گیاه آن خودرو، با سرعت رشد بسیار بالا، با کمترین هزینه و ضایعات در تولید، داشت و برداشت و قابل کشت در زمین های پست و کم بازده می باشد، امکان بافت دستی و محلی صفحات بافته شده از نی با کمترین هزینه و وابستگی به تکنولوژی و انرژی وجود دارد. با قیمت مناسب، کارایی، سهولت و سرعت زیاد می توان آن را در سقف ها و دیوارها به صورت سقف کاذب، عایق حرارتی و صوتی، دیوار های جدا کننده و قالب بتن

تقدیر و تشکر:

بدینوسیله از آقای مهندس بهزاد صالحی و آقایان علی و محمد خمیسی که اطلاعات و تجربیات ارزشمند خود در زمینه تولید و کاربرد صفحات بافته شده از نی را در اختیار اینجانب قرار دادند و آقای مهندس کیوان لاری بقال که در تهیه جزئیات همکاری نمودند تشکر می نمایم.

پی نوشت ها:

1- Curwell, S, 2002, p2

2 - Hall, N, 1991, p1

4 - Hall, n, 1991, p3 and Komar, A, 1987, P404

5 - Hall, N, 1991, p4, 5 v

6 - Komar, A, 1987, p405

7 - Komar, A, 1987, p405

8 - Komar, A, 1987, p405

9 - Komar, A, 1987, p405

10- Komar, A, 1987, p405

11- Curwell, S, 2002, p2

۳- فرشاد مهدی صفحه ۲۴

فهرست منابع:

Curwell, Steve, Bob Fox, Morris Greenberg, Chris March: Hazardous Building Materials.

Second Edition. London and New York; Spon Press 2002.

Hall Nicolas. Thatching, A handbook; Intermediate Technology Publication 1988 , reprinted 1991.

Non Timber Building Materials-http: //www.raimforestim.org.au/good-wood/mont-bld.htm

Komar, A, Building Materials And Components. Second Printing 1987 Mir Publishers Moscow 1987

تسنیمی، عباسعلی: بامبو عنصر سازه‌ای در ساختمان‌های سبک، تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ۱۳۷۶.

جامی، احمد: مصالح ساختمانی، دانشگاه تهران ۱۳۷۹.

راهنمای مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان، جلد اول: عایق کاری حرارتی پوسته خارجی ساختمان‌ها، تهران: وزارت مسکن و

شهرسازی، معاونت نظام مهندسی و اجرای ساختمان ۱۳۸۰.

قرشاد، مهدی: تاریخ مهندسی ایران، شیراز: انتشارات دانشگاه شیراز ۱۳۵۶.

مقررات ملی ساختمانی ایران، مبحث ۱۹ ک صرفه جویی در مصرف انرژی، تهران: دفتر مطالعات و نظام معماری وزارت مسکن

و شهرسازی ۱۳۸۰.