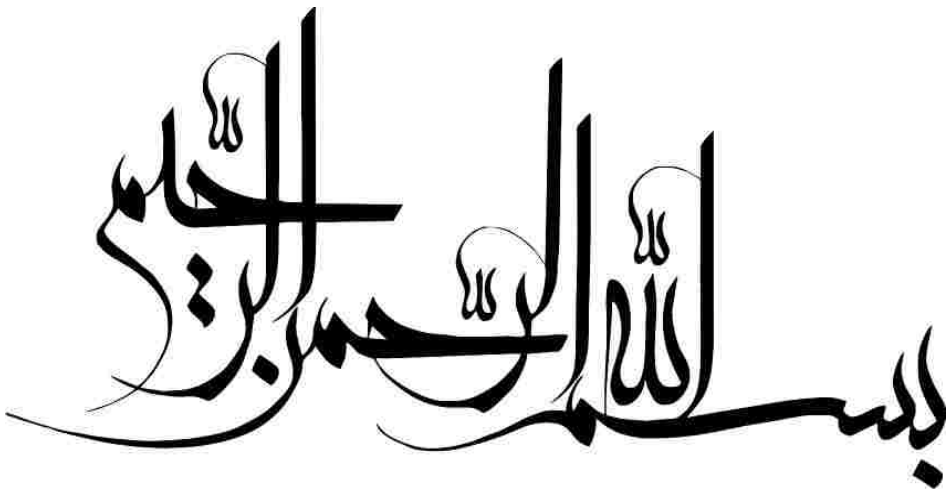

بسم الله الرحمن الرحيم

جمهوری اسلامی ایران
وزارت راه و شهرسازی

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی

مجریان:

فهیمه فیروزیار- فاطمه جعفرپور

همکار:

محمدرضا امیدظهیر

مشاور:

دکتر بهروز محمدکاری

شماره نشر: گ ـ ۸۰۵

چاپ اول

۱۳۹۷

سرشناسه	: فیروزیار، فهیمه، ۱۳٤۷
عنوان و نام پدیدآور	: ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی/مجریان فهیمه فیروزیار، فاطمه جعفرپور ؛ همکار محمدرضا امیدظهیر ؛ مشاور بهروز محمدکاری
مشخصات نشر	: تهران: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی،۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	: ح، ۱۲٤ ص.: مصور، جدول
فروست	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، شماره نشر:گ- ۸۰۵؛
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۱۹۰-۵
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۱۲۱
موضوع	: اندودکاری
موضوع	: Plastering
موضوع	: عایق‌ها و عایق‌سازی حرارتی
موضوع	: Insulation (Heat)
شناسه افزوده	: جعفرپور، فاطمه، ۱۳۲٤
شناسه افزوده	: امیدظهیر، محمدرضا، ۱۳٤۹
شناسه افزوده	: محمدکاری، بهروز، ۱۳٤۱
شناسه افزوده	: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
شناسه افزوده	: Road, Housing and Urban Development Research Center
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۷ ۷م۹ف/TH۸۱۳۱
رده بندی دیویی	: ٦۹۳/٦
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۱٦۷٤۲۹

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

نام کتاب: ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی
مجریان: فهیمه فیروزیار، فاطمه جعفرپور
همکار: محمدرضا امیدظهیر
مشاور: دکتر بهروز محمدکاری
شماره نشر: گ-۸۰۵
ناشر: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
نوبت چاپ: اول ۱۳۹۷
تیراژ: ۵۰۰نسخه
قطع: وزیری
لیتوگرافی، چاپ و صحافی: اداره انتشارات و چاپ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی
قیمت: ۱۰۵۰۰۰ ریال
شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۱۹۰-۵ **ISBN:** 978-600-113-190-5

مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.
کلیهٔ حقوق چاپ و انتشار اثر برای مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی محفوظ است.

نشانی ناشر: تهران، بزرگراه شیخ فضل ا... نوری، روبروی فاز ۲ شهرک فرهنگیان، خیابان نارگل، خیابان شهید علی مروی، خیابان حکمت صندوق پستی: ۱۶۹۶-۱۳۱۴۵ تلفن: ٦-۸۸۲۵۵۹٤۲ دورنگار: ۸۸۳۸٤۱۳۲
پست الکترونیکی:pub@bhrc.ac.ir فروش الکترونیکی: http:// pub.bhrc.ac.ir

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول:کلیات ۱
۱-۱ مقدمه ۱
۱-۲ اجزای تشکیل‌دهنده ملات ۳
۱-۳ انواع ملات‌ها ٦
۱-۳-۱ انواع ملات بنایی ۷
۱-۳-۲ انواع ملات اندودکاری داخلی و بیرونی ۸
۱-٤ انتخاب ملات ۱۲
۱-۵ مشخصات ملات اندودکاری ۱۳
۱-٦ دوام ملات‌های اندودکاری ۱٦
۱-٦-۱ دوام ملات‌های بنایی ۱۷
۱-۷ ملات‌های اندودکاری عایق‌حرارتی ۱۹
۱-۷-۱ مصالح پشت‌کار ۱۹
۱-۷-۲ رعایت نکات کاربردی ۲۰
۱-۸ عملکرد ملات‌های اندودکاری داخلی و بیرونی ۲۱
۱-۹ اجرای اندودکاری داخلی و بیرونی ۲۲
۱-۱۰ خواص ملات‌های اندودکاری داخلی و بیرونی ۲٤
۱-۱۱ اجزای تشکیل‌دهنده ملات اندودکاری ۲٤
۱-۱۱-۱ چسباننده‌های معدنی: ۲٤
۱-۱۱-۲ سنگدانه‌ها، افزودنی‌ها و پرکننده‌ها: ۲٤
۱-۱۱-۲-۱ افزودنی ۲۵
۱-۱۱-۲-۲ افزونه‌ها ۲٦
۱-۱۱-۲-۳ پرکننده‌ها ۲٦
۱-۱۱-۳ الیاف و مواد تقویت کننده ۲٦
۱-۱۱-٤ آب اختلاط ۲٦
۱-۱۱-۵ سنگدانه و رنگدانه ۲۷
۱-۱۱-۵-۱ رنگدانه‌های ملات ۲۷
۱-۱۲ نکات مهم در اندودکاری ۲۸
۱-۱۳ انواع مختلف اندودکاری ۲۹

۱-۱۳-۱ اندودهای یک لایه ۲۹
۱-۱۳-۲ اندودهای رنگی ۲۹
۱-۱۳-۳ اندود سیمانی ۳۰
۱-۱۳-٤ اندود پلیمری ۳۰
۱-۱۳-۵ اندود عایق حرارتی ۳۲
۱-۱۳-٦ اندود لایه نازک سبک ۳۳
۱-۱۳-۷ اندود آکریلیکی ۳٤
فصل دوم: تحقیق و بررسی برای ساخت نوعی ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی ۳۵
۲-۱ کلیات ۳۵
۲-۲ هدف و روش انجام تحقیق ۳٦
۲-۲-۱ هدف تحقیق ۳٦
۲-۲-۲ روش انجام تحقیق ۳٦
۲-۳ مواد و مصالح مصرفی و مشخصات آن‌ها برای اجرای پروژه ۳٦
۲-۳-۱ مواد چسباننده ۳۷
۲-۳-۲ سنگدانه ۳۹
۲-۳-۳ مواد افزودنی ٤۰
۲-۳-٤ مواد افزونه ٤۲
۲-٤ بررسی‌های آزمایشگاهی ٤۲
۲-٤-۱ ساخت آزمونه‌های ملات اندودکاری ٤۲
۲-٤-۲ اندازه‌گیری مقاومت فشاری آزمونه‌های ملات اندودکاری ٤۵
۲-٤-۲-۱ ارزیابی نتایج اندازه‌گیری مقاومت فشاری ٤٦
۲-٤-۳ اندازه‌گیری چگالی آزمونه‌های ملات اندودکاری ٤٦
۲-٤-۳-۱ ارزیابی نتایج اندازه‌گیری چگالی ٤۷
۲-٤-٤ اندازه‌گیری ضریب جذب آب موئینه آزمونه‌های ملات اندودکاری ٤۷
۲-٤-٤-۱ ارزیابی نتایج اندازه‌گیری ضریب جذب آب موئینه ٤۸
۲-٤-۵ اندازه‌گیری چسبندگی آزمونه‌های ملات اندودکاری ٤۹
۲-٤-۵-۱ ارزیابی نتایج اندازه‌گیری چسبندگی ۵٤
۲-٤-٦ اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری بخار آب آزمونه‌های ملات اندودکاری ۵٤
۲-٤-٦-۱ ارزیابی نتایج اندازه‌گیری ضریب نفوذپذیری بخار آب ۵٦
۲-٤-۷ ساخت آزمونه‌های تکمیلی ملات اندودکاری ۵٦

۲-٤-۷-۱ ارزیابی نتایج آزمونه‌های انجام شده بر روی سه ترکیب‌بندی تکمیلی ۵۹
۲-٤-۸ اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی آزمونه‌های ملات اندودکاری ٦۰
۲-٤-۸-۱ ارزیابی نتایج اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی ٦۱
۲-۵ بررسی‌های آزمایشگاهی بر روی یک نوع ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی وارداتی ٦۲
۲-۵-۱ ارزیابی نتایج آزمون‌های انجام شده بر روی یک نوع ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی وارداتی ٦٤
۲-٦ خواص ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی ساخته شده در پروژه و مقایسه آن با خواص ملات وارداتی ٦٤
۲-٦-۱ نتایج ضریب هدایت حرارتی ملات اندودکاری ساخته شده در پروژه و مقایسه آن با ضریب هدایت حرارتی ملات وارداتی ٦۷
فصل سوم: عملکرد سامانه دیوار اندود شده با ملات اندودکاری منتخب در پروژه ٦۹
۳-۱ کلیات ٦۹
۳-۲ بررسی ضریب انتقال حرارتی سامانه دیوار اندود شده با ملات اندودکاری ساخته شده در پروژه (با بهینه ضریب هدایت حرارتی به‌دست آمده) ۷۰
۳-۲-۱ اندازه گیری ضریب انتقال حرارتی سامانه دیوار ساخته شده با ملات اندودکاری انتخاب شده در پروژه و بدون آن ۷۰
۳-۲-۱-۱ ارزیابی نتایج اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت سامانه دیوار اجرا شده با ملات اندودکاری و بدون آن و مقایسه آن‌ها با یکدیگر ۷٤
۳-۳ برآورد اقتصادی و بازگشت سرمایه ۷۵
۳-۳-۱ هزینه تمام شده ملات ماسه – سیمان و ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی منتخب در پروژه ۷۵
۳-۳-۲ محاسبه صرفه‌جویی سالانه انرژی ۷۷
۳-۳-۳ زمان برگشت سرمایه ساده و مرکب ۷۹
۳-٤ تفسیر نتایج ۸۱
۳-۵ نتیجه‌گیری کلی ۸۲
فصل چهارم: راهنمای طراحی، آماده‌سازی و اجرای اندودهای سبک و عایق حرارتی بیرونی. ۸۳
٤-۱ کلیات ۸۵
٤-۲ اصول اساسی و برنامه ساختمانی ۸۵
٤-۲-۱ اصول اساسی ۸۵
٤-۲-۲ برنامه کاری ساختمان ۸٦

٤-٣ ملاحظات طراحی ٨٧
٤-٣-١ عوامل تأثیرگذار روی طراحی سامانه اندودکاری ٨٧
٤-٣-٢ آماده سازی مصالح پشت‌کار ٨٨
٤-٣-٣ خصوصیات مصالح پشت‌کار ٨٨
٤-٣-٤ مقاومت مصالح پشت‌کار ٨٨
٤-٣-٥ جذب آب مصالح پشت‌کار ٨٨
٤-٣-٦ اتصال مصالح پشت‌کار ٨٩
٤-٣-٧ درزهای جابه‌جایی در مصالح پشت‌کار ٨٩
٤-٣-٨ ترک‌ها در مصالح پشت‌کار ٨٩
٤-٣-٩ پایداری ابعادی مصالح پشت‌کار ٨٩
٤-٣-١٠ دوام مصالح پشت‌کار ٩٠
٤-٣-١١ مناسب بودن مصالح پشت‌کار ٩٠
٤-٤ دوام اندود ٩٣
٤-٤-١ شرایط رویارویی ٩٣
٤-٤-٢ پایداری دربرابر نفوذ باران ٩٤
٤-٤-٣ پایداری دربرابر رطوبت بالارونده از زمین بدون فشار (آب مویینه) ٩٥
٤-٤-٤ نمک‌های محلول ٩٥
٤-٤-٥ تأثیر آلودگی جوی ٩٦
٤-٤-٦ تأثیر یخ‌زدگی ٩٦
٤-٤-٧ مقاومت در برابر ضربه و سایش ٩٦
٤-٤-٨ خوردگی فلزات ٩٧
٤-٤-٩ ترک‌خوردگی ٩٧
٤-٤-١٠ جابه‌جایی مصالح پشت‌کار ٩٧
٤-٤-١١ جابه‌جایی اندودکاری ٩٨
٤-٥ ارزیابی ترک‌ها ٩٨
٤-٥-١ ترک‌های ناشی از مصالح پشت‌کار / ساختمان ٩٩
٤-٥-٢ ترک‌های مویین ١٠٠
٤-٥-٣ ترک‌های ناشی از نوع اندود یا اجرا ١٠٠
٤-٥- ٤ روش‌های کاهش ترک‌خوردگی ١٠٠
٤-٥-٥ درزها ١٠١

٤-٥-٦ مصالح پشت‌کار گوناگون که سبب جابه‌جایی ناهمسان می‌شوند ۱۰۱
٤-٥-٧ جابه‌جایی مصالح پشت‌کار ۱۰۲
٤-٦ ملاحظات حرارتی ۱۰۲
٤-٧ ایجاد حفاظت از طریق جنبه‌های معماری و عملکردی ۱۰۲
٤-٧-١ جان‌پناه و دیوارهای تیغه‌ای ۱۰۳
٤-٧-٢ پیش‌آمدگی‌های لبه و زیرنماهای بام ۱۰۳
٤-٧-٣ هره و موارد مشابه ۱۰۳
٤-٧-٤ کف آستانه و کف پنجره ۱۰۵
٤-٧-٥ زیرطاق (رخ‌بام) ۱۰۷
٤-٧-٦ لوله‌ها و سایر لوله‌های تاسیساتی ۱۰۷
٤-٨ هموارسازی (پرکردن فرورفتگی‌ها) ۱۰۷
٤-٨-١ زیرلایه‌ها ۱۰۷
٤-٨-٢ اندودهای با خواص ویژه ۱۰۸
٤-٩ اجرا در محل، آماده‌سازی و کاربرد اندودکاری ۱۰۹
٤-٩-١ انبارکردن مواد و مصالح ۱۰۹
٤-٩-٢ داربست ۱۱۰
٤-٩-٣ حفاظت از سطوح مجاور ۱۱۰
٤-٩-٤ آماده‌سازی مصالح پشت‌کار ۱۱۰
٤-١٠ کاربرد اندودهای مختلف ۱۱۵
٤-١٠-١ عمل‌آوری ۱۱۵
٤-١٠-٢ روش اجرای اندودکاری با استفاده از دستگاه یا دست ۱۱۵
٤-١٠-٣ اندودهای عایق حرارتی ۱۱۷
٤-١٠-٤ اندودهای اصلاح شده ۱۱۷
٤-١١ نگهداری و تعمیر (به غیر از مرمت) ۱۱۷
٤-١١-١ بازرسی ۱۱۷
٤-١١-٢ تعمیر ترک‌ها ۱۱۷
٤-١١-٣ تعمیر مناطق توخالی و جداشده ۱۱۹
٤-١١-٤ اصلاح ظاهر غیرمطلوب ۱۱۹
٤-١١-٥ مقابله با نفوذ آب ۱۲۰
مراجع ۱۲۱

چکیده

به‌طور کلی ملات مخلوطی از یک چسباننده، سنگدانه و در صورت لزوم افزودنی های مناسب و آب اختلاط است و به دو دسته ملات اندودکاری داخلی و بیرونی و ملات بنایی تقسیم می‌شود. هریک از دو دسته ملات براساس نوع مصرف مشخص می‌شوند.
اندودکاری داخلی یا بیرونی به‌عنوان پوسته محافظ ساختمان عمل می‌کند و وظیفه تعدادی از عملکردهای مختلف آن را به‌عهده دارد. اندودکاری داخلی و بیرونی در آخرین مرحله فرآیند ساختمان‌سازی به‌کار برده می‌شود. در این خصوص جا دارد که توجه ویژه‌ای اعمال شود تا مشکلات مربوط به دوام به حداقل برسد.
امروزه یکی از روش‌های کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان، نوع طراحی با توجه به‌شرایط اقلیمی و مصالح به‌کار رفته در پوسته خارجی آن است.
کاهش مصرف انرژی و تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر، دو رکن اصلی برای رسیدن به ساختمانی با مصرف انرژی پایین است که بخش عمده‌ای از کار وابسته به طراحی صحیح ساختمان درنظرگرفته می‌شود.
براساس آمار سال ۱۳۷۹، بخش خانگی با مصرف بیش از ٤٠٪ از کل انرژی مصرفی کشور، بالاترین سهم را در میان سایر بخش‌های اقتصادی به خود اختصاص داده که از این میان بیشترین میزان مصرف مربوط به گاز طبیعی بوده است. مقایسه مصرف انرژی بین ساختمان‌های کشور با مقدار متناظر آن در کشورهای توسعه یافته، گویای فاصله زیاد این دو مقدار بوده است که این تفاوت، تجدید نظر اصولی در سیاست‌های مصرف انرژی در بخش ساختمان را ضروری می‌سازد.
در این راستا هدف از اجرای این پروژه دستیابی به دانش فنی ساخت نوعی ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی است که از واردات آن جلوگیری به عمل آورد و با تولید و مصرف این نوع ملات در هزینه‌های سرمایش و گرمایش صرفه‌جویی شود.
در پروژه حاضر ابتدا ملات‌های اندود کاری با ترکیب‌بندی مختلف و با استفاده از مواد و مصالح گوناگون ساخته شد. بررسی‌های آزمایشگاهی براساس استانداردهای داخلی و بین‌المللی بر روی ملات‌های اندودکاری ساخته شده، انجام گرفت و با توجه به نتایج

به‌دست آمده بهینه ملات از نظر سبک و عایق حرارت بودن انتخاب شد. عملکرد ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی انتخاب شده در زمینه ضریب انتقال حرارتی بر روی دیوار اجرا شده، مورد بررسی قرا رگرفت. همچنین برای این نوع ملات اندودکاری، برآورد اقتصادی نیز صورت گرفت و بازگشت سرمایه آن نیز ارزیابی شد. در این خصوص نتایج به‌دست آمده به تفصیل در گزارش نهایی پروژه ارائه شده است. از آنجایی‌که اجرای صحیح اندودکاری نیاز به دانش فنی ویژه‌ای دارد، بنابراین راهنمای طراحی، آماده‌سازی و اندودکاری با این نوع اندودها براساس مصالح پشت‌کار و شرایط رویارویی نیز شرح داده شده است.

فصل اول
کلیات

۱-۱ مقدمه

ملات ماده خمیری شکلی است که مصالح بنایی را به‌یکدیگر می‌چسباند و آنها را به دیوار و سایر اجزای ساختمان بدل می‌سازد. نقش ملات در ساختمان به‌شرح زیر است:

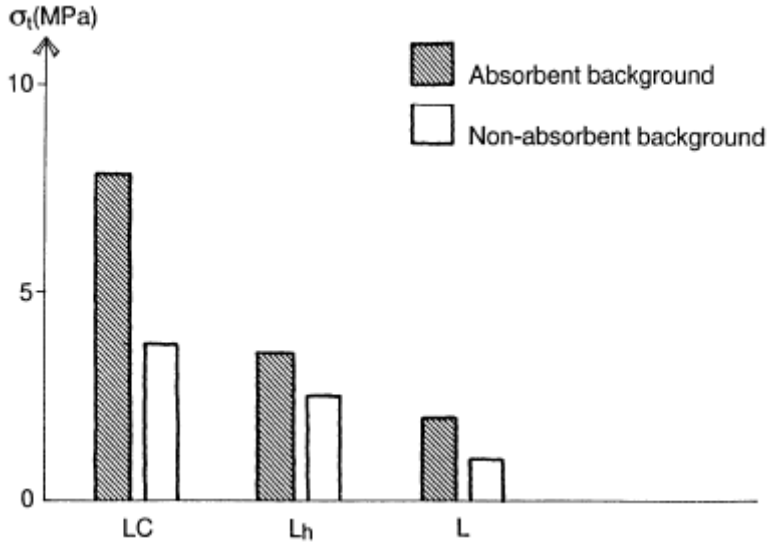
- قطعات را به‌یکدیگر می‌چسباند و فضای بین آن‌ها را پر می‌کند.
- با ایجاد یکپارچگی سبب توزیع تقریباً یکنواخت نیرو می‌شود.
- اختلاف اندازه در اجزای ساختمان را جبران می‌کند.
- موجب می‌شود که قطعات فلزی و مسلح‌کننده با دیوار، به‌صورت کامل و یکپارچه عمل کنند.
- نوعی از آن با کاربرد ملات نما، از جنبه معماری سبب پدیدآمدن ماهیت زیبا می‌شود.

ملات در ساختمان به‌صورت تازه و یا سخت شده خیلی شبیه بتن است. نقش افزودن مواد ریزدانه به بتن، به‌منظور آب‌بندی کردن آن و در ملات به‌منظور بهبود بافت و کارایی آن صورت می‌گیرد.

در مورد بتن الزامات تعیین مقاومت براساس محاسبه نسبت سیمان به‌طور مستقیم است. دستیابی به مقاومت مورد نظر در ملات این‌گونه نخواهد بود، به‌دلیل آن‌که مقاومت نهایی آن بستگی به شرایط کاربرد دارد. به‌عنوان مثال مقاومت و دوام ملات بستگی به

میزان جذب مصالح پشت کار در هنگام اجرا دارد.

چنانچه ملات بر روی دو نوع مصالح پشت کار با جذب آب زیاد مانند آجر رسی یا بتن و با جذب آب کم مانند سنگ طبیعی و قطعات بنایی تر اجرا شود، مقاومت لازم ملات بر روی مصالح پشت‌کار با جذب آب کم، نصف مقاومت برای مصالح پشت کار با جذب آب زیاد است (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- مقاومت ملات‌های اجرا شده بر روی دو نوع مصالح پشت‌کار با جذب آب مختلف

(L =آهک، C = سیمان، L_h = آهک هیدراته)

این خصوصیت برای سایر خواص ملات مانند پایداری در برابر یخ‌زدگی نیز صادق است. مهم بودن میزان جذب آب مصالح پشت‌کار به‌این دلیل است که به عنوان مثال هنگام سخت شدن ملات با آب اضافی بر روی مصالح پشت کار با جذب آب کم، خلل و فرج زیادی ایجاد می‌شود. اکثر خواص موردنظر ملات بستگی به استفاده از آن روی مصالح پشت‌کاردارد.

در عمل هنگام انتخاب ملات باید در مورد تاثیر مصالح پشت‌کار، ملاحظاتی درنظر گرفته شود [۱].

۱-۲ اجزای تشکیل‌دهنده ملات

اجزای اصلی تشکیل‌دهنده ملات شامل مواد چسباننده، سنگدانه و آب اختلاط است. انواع مختلف افزودنی‌ها یا افزونه‌ها به‌منظور دستیابی به خواص ویژه را می‌توان به‌شرح زیر مورد استفاده قرار داد:

- رنگدانه‌ها برای دستیابی به رنگ ویژه؛
- مواد آب‌گریز برای پایداری در برابر نفوذ آب و باران؛
- مواد حباب‌زا برای پایداری در برابر یخ‌زدگی؛
- مواد بهبود دهنده برای میزان روانی و کارایی.

انتخاب نوع و مقدار چسباننده و سنگدانه باید براساس دستیابی به خواص ملات تازه و سخت شده صورت گیرد.

نقش چسباننده به‌منظور چسباندن ذرات سنگدانه است. دو نوع چسباننده هیدرولیکی و غیرهیدرولیکی را می‌توان مورد استفاده قرار داد.

چسبانندههای غیرهیدرولیکی فقط در هوا و چسبانندههای هیدرولیکی هم در هوا و هم در آب عمل‌آوری می‌شود. چسبانندههای غیرهیدرولیکی، آهک شکفته (L) است. از قدیمی‌ترین چسبانندههای هیدورلیکی آهک هیدراته (L_h) است که از سنگ آهک رس‌دار تولید می‌شود. در حال حاضر مهمترین چسباننده هیدرولیکی سیمان (C) است. از مخلوط سیمان و آهک شکفته نیز (LC) می‌توان استفاده کرد. برای ملات بنایی معمولاً از سیمان و پودر ریزدانه سنگ آهک استفاده می‌شود. ملات بنایی از سیمان خالص و سنگ آهک بسیار ریزدانه ساخته می‌شود.

فرآیند سخت شدن ملات آهکی معمولی یا خمیر آهک در دو مرحله صورت می‌گیرد. در مرحله اول خشک می‌شود و تشکیل بلورهای هیدروکسید کلسیم می‌دهد که سبب استحکام ملات می‌شود. در مرحله دوم، هنگامی‌که میزان رطوبت به‌قدر کافی کاهش یافت، عمل‌آوری واقعی یعنی کربناته شدن شروع می‌شود. هیدروکسید کلسیم در هوا با دی‌اکسید کربن وارد واکنش می‌شود و تشکیل کربنات کلسیم می‌دهد. این فرآیند

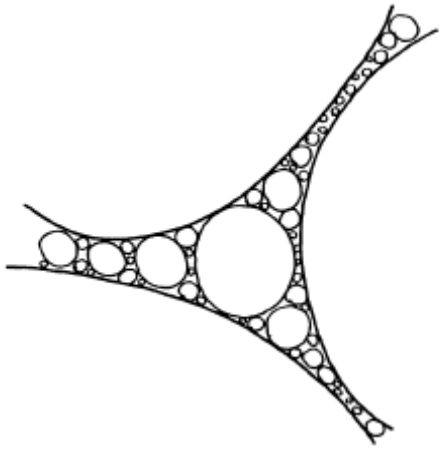
برای کیفیت مطلوب ملات لازم است و به‌طور آرام از بیرون به داخل رخ می‌دهد. شرایط آب و هوایی نامناسب (خیلی خشک، خیلی مرطوب یا خیلی سرد) ممکن است به‌طور جدی با عمل کربناته شدن تداخل کند. رطوبت نسبی بهینه (RH) ٦٠ تا ٨٠ درصد است.

برای چسباننده‌های هیدرولیکی، عمل‌آوری یک فرآیند شیمیایی است و به محض اضافه شدن آب، شروع می‌شود. عمل‌آوری به‌طور یکنواخت در داخل ملات رخ می‌دهد و نیاز به آب دارد.

سنگدانه معمولی در ملات‌های بنایی و اندودکاری، ماسه است. سنگدانه بیشترین جزء تشکیل‌دهنده ملات است و ساختار ملات را تشکیل می‌دهد. سنگدانه نباید دارای مواد آلی و بیش از ١٠ درصد حجمی رس و لای باشد، زیرا این مواد سبب جمع‌شدگی زیاد در ملات می‌شود.

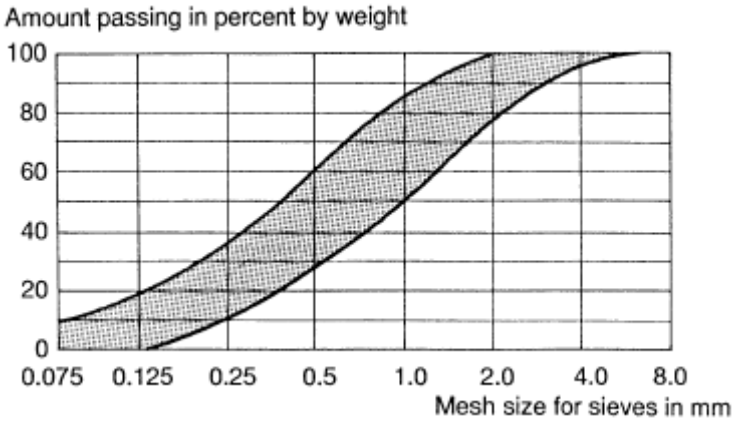
حداکثر اندازه دانه‌های ماسه بستگی به نوع مصرف ملات دارد. برای کارهای بنایی حداکثر اندازه دانه‌ها باید در حدود یک سوم عرض درز بین قطعات بنایی باشد. برای اندودکاری حداکثر اندازه دانه‌ها بستگی به پرداخت سطح مورد نظر دارد، به‌طور معمول نباید بیش از یک سوم تا یک دوم ضخامت لایه باشد[١].

توزیع اندازه دانه‌های ماسه باید پیوسته باشد، به‌گونه‌ای که همه فضاهای بین دانه‌های درشت‌تر با دانه‌های ریزتر پر شود (شکل ١-٢).



شکل١-٢- ساختار پیوستگی سنگدانه. پر شدن همه فضاهای بین ذرات درشت‌تر با ذرات ریزتر

توزیع اندازه دانه‌ها باید در محدوده نشان داده شده در شکل ۱–۳ باشد.



شکل ۱–۳– محدوده توزیع اندازه دانه‌ها

مقدار سنگدانه ریز (کوچکتر از ۰/۲۵ میلی‌متر) برای کارایی ملات حائز اهمیت است. چنانچه سنگدانه ریز به‌مقدار کم مورد استفاده قرار گیرد (نزدیک به بخش پایینی منحنی)، کار کردن با ملات مشکل است.

چنانچه سنگدانه از سنگ شکسته تهیه شود معمولاً کار با این نوع ملات دشوار است، اما کارایی آن را می‌توان با افزایش مقداری چسباننده و پر کننده (سنگدانه با اندازه دانه‌های کمتر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر) اصلاح کرد. در چنین مواقعی به‌منظور بررسی هرگونه اثرات نامطلوب، انجام آزمون توصیه می‌شود.

اکثر مصالح سنگی برای تولید سنگدانه مناسبند. در این راستا از استفاده از سنگ طلق (سنگ صابون)، میکا و سنگ لوح باید پرهیز شود.

آب اختلاط دارای دو عملکرد در ملات است:

– تامین کارایی؛

– عاملی برای واکنش‌های شیمیایی.

آب مورد استفاده در تهیه ملات باید تمیز و بدون آلودگی‌های نمکی و آلی باشد. افزونه‌های مورد استفاده در ملات، مشابه بتن است. معمولاً افزونه‌ها باید در مقادیر بسیار کم مورد استفاده قرار گیرند. مقادیر زیاد سبب نتایج نامطلوب می‌شود. اغلب اوقات هرچند یک افزونه سبب بهبود یک خاصیت می‌شود ولی ممکن است سبب افت خواص دیگر آن نیز بشود. با توجه به احتمال خطرپذیری استفاده از افزونه‌ها، این نوع مواد نباید در محل کارگاه به اجزای تشکیل‌دهنده ملات اضافه شوند. با تولید صنعتی تحت شرایط کنترل‌شده، برخی افزونه‌ها عملکرد مناسبی دارند، مانند مواد حباب‌زا که سبب روانی ملات، یا مواد آب‌گریز سبب کاهش جذب آب آن می‌شود. هرگونه استفاده از افزونه‌ها باید براساس آزمونه‌های آزمایشگاهی با ترکیب‌بندی درست مشابه ملات مورد استفاده باشد[۱].

۱-۳ انواع ملات‌ها

ملات‌های بنایی و اندودکاری برحسب نوع و مقدار چسباننده و سنگدانه دسته‌بندی می‌شوند. به‌طور معمول مقدار چسباننده و سنگدانه با نسبت‌بندی وزنی و در برخی موارد به‌صورت حجمی بیان می‌شود.

مهمترین خاصیت ملات تازه کارایی آن است. این خاصیت با بیشتر شدن مقدار چسباننده مانند آهک افزایش می‌یابد، اما زیاد شدن چسباننده ممکن است در طول عمل‌آوری تأثیر نامطلوبی چون جمع‌شدگی داشته باشد. جمع‌شدگی در طول سخت‌شدن رخ می‌دهد و ممکن است سبب ایجاد ترک شود. به‌طور معمول جمع‌شدگی با مقدار چسباننده افزایش می‌یابد و به این معنی است که نباید از چسباننده بیش از مقدار لازم استفاده شود. جمع‌شدگی در ملات‌های با مقدار سیمان زیاد، کم است، اما جمع‌شدگی در این ملات‌ها دیرتر رخ می‌دهد. احتمال خطر ایجاد ترک و سایر اثرات منفی در ملات‌های با سیمان زیاد بیشتر است.

مقاومت، سختی، پایداری در برابر یخ‌زدگی و چگالی ملات‌های سخت شده با مقدار سیمان بیشتر افزایش می‌یابد[۱].

۱-۳-۱ انواع ملات بنایی

ملات‌های بنایی آماده (ملات بستر، درزبندی و بندکشی) در دیوارهای بنایی، ستون‌ها و جداگرها (برای مثال درسازه‌های بنایی باربر یا غیرباربر، برای بنا و صنعت راه و ساختمان) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

براساس استاندارد ملی ایران شماره ۲-۷۰۶ ملات‌های بنایی از نظر کاربرد به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

- ملات بنایی تازه : ملاتی که کاملاً مخلوط شده و آماده برای استفاده در کارهای بنایی است.
- ملات بنایی طراحی شده: ملاتی که ترکیبات و روش تولید آن برای دستیابی به خواص ویژه توسط تولیدکننده انتخاب می‌شود (براساس عملکرد).
- ملات بنایی لایه نازک: ملات بنایی طراحی شده با سنگدانه دارای حداکثر اندازه برابر یا کمتر از ۲ میلی‌متر.
- ملات بنایی سبک وزن: ملات بنایی سخت شده با چگالی کمتر از ۱۳۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب.
- ملات بنایی آماده: ملاتی که در کارخانه پیمانه و مخلوط شده است. این ملات می‌تواند به صورت خشک که باید با آب مخلوط شود و یا به صورت تر آماده برای مصرف، عرضه شود.
- ملات بنایی نیمه آماده: این نوع ملات به دو نوع زیر تقسیم می‌شود:

الف- ملات بنایی از پیش پیمانه شده : ملاتی که اجزای متشکل آن به طور کامل در کارخانه پیمانه شده و به کارگاه ساختمانی عرضه و مطابق ویژگی‌ها و شرایط ذکر شده توسط تولیدکننده مخلوط می‌شود.

ب- ملات بنایی ماسه – آهک از پیش مخلوط شده: ملاتی که اجزای متشکل آن در کارخانه به طور کامل پیمانه و مخلوط می‌شود و به کارگاه ساختمانی عرضه و در آنجا مواد متشکل دیگری که توسط کارخانه مشخص ویا فراهم شده است، اضافه می‌شود (مانند سیمان)[۲].

در جدول ۱-۱ رده‌بندی مقاومت فشاری ملات‌های بنایی براساس استاندارد ملی ایـران شماره ۲-۷۰۶، منعکس شده است[۲].

جدول ۱-۱-رده‌بندی مقاومت فشاری ملات بنایی

رده	M ۱	M ۲٫۵	M ۵	M ۱۰	M ۱۵	M ۲۰	M_d
مقاومت فشاری- حداقل (نیوتن بر میلی‌متر مربع)	۱	۲٫۵	۵	۱۰	۱۵	۲۰	d
d- مقاومت فشاری بیشتر از ۲۰ نیوتن بر میلی‌مترمربع که توسط تولید کننده اظهارمی‌شود و مضربی از ۵ است.							

۱-۳-۲ انواع ملات اندودکاری داخلی و بیرونی

این نوع ملات‌ها دارای چسباننده‌های معدنی بـوده و در انـدودکاری بیرونـی و داخلـی دیوارها، سقف‌ها، ستون‌ها و جداگرها مورد استفاده قرار می گیرند.

به‌طور کلی اندودکاری، بیرونی ترین کاری است کـه روی سـطوح مختلـف سـاختمان انجام می‌شود و در افزایش عمـر سـاختمان تـاثیر بـه‌سـزایی دارد. انـدودکاری یکـی از روش‌های متداول نماسازی است که برای اجرای آن ، متناسب با شرایط آب و هوایی و جنس سطح پشت‌کار،از ملات‌های مختلف استفاده می شود.

براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۰۶ ملات‌های اندودکاری داخلـی و بیرونـی از نظر کاربرد به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

- ملات اندودکاری بیرونـی و داخلـی: مخلـوطی از یـک یـا چنـد چسـباننده معـدنی، سنگدانه، آب و گاهی مواد افزونه یا افزودنی که در اندودکاری بیرونی یا داخلی استفاده می‌شود.
- ملات اندودکاری بیرونی و داخلی تازه: ملاتی که کاملاً مخلوط شـده و آمـاده بـرای استفاده است.
- ملات اندودکاری بیرونی و داخلی طراحی شده: ملاتی که ترکیبات و روش تولیـد آن برای دستیابی به خواص ویژه، توسط تولیدکننده انتخاب می‌شود (براساس عملکرد).

– ملات اندودکاری بیرونی و داخلی آماده: ملاتی که در کارخانه پیمانه و مخلوط شده است. این ملات می‌تواند به صورت خشک (باید هنگام مصرف با آب مخلوط شود) و یا به صورت تر آماده برای مصرف، عرضه شود.

– ملات اندودکاری بیرونی و داخلی از پیش پیمانه شده: اجزای متشکل این نوع ملات به طور کامل در کارخانه پیمانه شده و به کارگاه ساختمانی عرضه و مطابق ویژگی‌ها و شرایط ذکر شده توسط تولیدکننده مخلوط می‌شود.

– ملات اندودکاری بیرونی و داخلی ماسه – آهک از پیش مخلوط شده: ملاتی که اجزای متشکل آن در کارخانه به طور کامل پیمانه و مخلوط می‌شود و به کارگاه ساختمانی عرضه و در آنجا مواد متشکل دیگری که توسط کارخانه مشخص ویا فراهم شده است، اضافه می‌شود (مانند سیمان).

– ملات اندودکاری بیرونی و داخلی کارگاهی: ملاتی که هر یک از اجزای متشکل آن به طور جداگانه پیمانه شده و در کارگاه ساختمانی مخلوط می‌شود.

– ملات اندودکاری بیرونی و داخلی برای کارهای عمومی: ملات اندودکاری بیرونی یا داخلی بدون خواص ویژه. این نوع ملات می‌تواند ازپیش‌تعریف شده یا طراحی شده باشد.

– ملات اندودکاری بیرونی و داخلی سبک: ملات اندودکاری بیرونی و داخلی طراحی شده با چگالی مساوی یا کمتر از ۱۳۰۰ کیلوگرم برمتر مکعب.

– ملات اندودکاری بیرونی و داخلی رنگی: ملات اندودکاری بیرونی و داخلی طراحی شده که برای کاربردهای ویژه، رنگی شده است. رنگ این نوع ملات با استفاده از رنگدانه‌ها یا سنگدانه‌های رنگی به‌دست می‌آید.

– ملات اندودکاری بیرونی یک لایه: ملات اندودکاری طراحی شده که در یک لایه به‌کار می‌رود و همه وظایف یک سامانه چند لایه را که در اندودکاری خارجی استفاده می‌شود، انجام می دهد. این نوع ملات معمولاً به صورت رنگی مورد استفاده

قرارمی‌گیرد. ملات‌های یک لایه برای استفاده بیرونی را می‌توان با استفاده از سنگدانه‌های معمولی و یا سبک تولید کرد.

– ملات اصلاح شده: ملات اندودکاری بیرونی یا داخلی طراحی شده که روی دیوارهای بنایی نمناک دارای نمک‌های محلول، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ملات‌ها دارای تخلخل و نفوذپذیری زیاد و جذب مؤیینگی کم هستند.

– ملات عایق حرارتی: این نوع ملات‌ها با توجه به خواص عایق حرارتی ویژه، طراحی و تولید می‌شود.

ویژگی‌های ملات‌های اندودکاری بیرونی و داخلی مطابق با استاندارد ملی ایران ۱-۷۰۶، در جدول۱-۲ منعکس شده است[۳].

جدول۱-۲- ویژگی‌ها برای ملات‌های اندودکاری بیرونی و داخلی (براساس استاندارد ملی ایران ۱-۷۰۶)

نوع آزمون	GP	LW	CR	OC	R	T
چگالی انبوهی خشک (kg/m^3)	محدوده مقادیر اظهار شده	محدوده مقادیر اظهار شده $kg/m^3 \leq ۱۳۰۰$	محدوده مقادیر اظهار شده	محدوده مقادیر اظهار شده	محدوده مقادیر اظهار شده	محدوده مقادیر اظهار شده
رده‌های مقاومت فشاری	CS I تا CS IV	CS I تا CS III	CS I تا CS IV	CS I تا CSIV	CS II	CS I تا CSII
چسبندگی(N/mm^2) الگوی گسیختگی (الف، ب و پ)	≥ از مقدار اظهار شده‌و الگوی گسیختگی	≥ از مقدار اظهار شده و الگوی گسیختگی	≥ از مقدار اظهار شده و الگوی گسیختگی	–	≥ از مقدار اظهار شده و الگوی گسیختگی	≥ از مقدار اظهار شده و الگوی گسیختگی
رده‌های جذب آب مؤئینه (برای ملات‌های موردمصرف در اجزای بیرونی ساختمان)	W0 تا W2	W 0 تا W 2	W 0 تا W 2	W 1 تا W 2	≥ ۰/۳ kg/m^2 پس از ۲٤ ساعت	W1
ضریب نفوذپذیری بخارآب (μ) (برای‌ملات‌های موردمصرف در اجزای بیرونی ساختمان)	≤ از مقدار اظهار شده	≤ از مقدار اظهار شده	≤ از مقدار اظهار شده	≤ از مقدار اظهار شده	≤ ۱۵	≤ ۱۵
چسبندگی پس از چرخه‌های هوازدگی (N/mm^2) الگوی گسیختگی (الف، ب و پ)	–	–	–	مقدار اظهار شده و الگوی گسیختگی	–	–
نفوذپذیری آب زیر لایه پس از چرخه‌های هوازدگی (ml/cm^2 پس از ٤٨ ساعت)	–	–	–	≤ ۱ ml/cm^2 پس از ٤٨ ساعت	-	–
هدایت حرارتی (W/m.K) (برای ملات‌های مورد مصرف در اجزایی که در معرض الزامات حرارتی هستند)	مقدار جدول‌بندی شده	مقدار جدول‌بندی شده	مقدار جدول‌بندی شده	مقدار جدول‌بندی شده	مقدار جدول‌بندی شده	–
	–	–	–	–	–	T 1 : ≤ ۰/۱۰ T 2 : ≤۰/۲۰
رده واکنش در برابر آتش	اظهار براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۷۰٦					
دوام	اظهار براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۷۰٦					

GP: ملات اندودکاری بیرونی یا داخلی برای مصارف عمومی

LW: ملات اندودکاری بیرونی یا داخلی سبک

CR: ملات اندودکاری بیرونی رنگی

OC: ملات اندودکاری یک لایه برای مصارف بیرونی

R: ملات اصلاح شده

T: ملات عایق حرارتی

۱-٤ انتخاب ملات

هنگام انتخاب یک ملات تنها مقاومت آن نباید در نظر گرفته شود. اندرکنش بین قطعات بنایی و ملات بسیار حائز اهمیت است. برای اندرکنش مطلوب، ملات باید دارای روانی و کارایی مناسب باشد.

ملات باید دارای مقاومتی تقریباً مشابه قطعات بنایی باشد. چنانچه مقاومت ملات زیادتر باشد، همیشه احتمال خطر ترک‌خوردگی وجود دارد.

هنگام اجرا، میزان جذب آب قطعات بنایی برای چسبندگی و گیرش ملات حائز اهمیت است. چنانچه قطعات بنایی، دارای جذب آب بسیار کم و جزء اصلی تشکیل‌دهنده ملات، آهک باشد، چسبندگی بین آن‌ها به زمان زیادی نیاز دارد و در نتیجه به دلیل ضعف در اتصال قطعات بنایی به ملات تازه منجر به تغییر شکل زیادی در دیوار می‌شود. به عبارت دیگر چنانچه قطعات بنایی دارای جذب آب زیاد باشد، ملات دارای سیمان زیاد (پرمایه) ممکن است میزان زیادی از آب اختلاط را از دست داده و عمل‌آوری ملات متوقف شود. همچنین جذب آب خیلی زیاد سبب می‌شود که ملات پیش از آن‌که قطعه بنایی در وضعیت نهایی خود قرار گیرد، سخت شود.

هنگام انتخاب یک ملات باید نکات زیر مورد توجه قرار گیرد:

۱- مقاومت مناسب؛

۲- سازگاری ملات درزمینه جذب آب قطعات بنایی.

مهم‌ترین عامل در انتخاب چسباننده به شرح زیر است:

- انتخاب چسباننده با آهک پرمایه برای قطعات بنایی ضعیف و با جذب آب زیاد؛
- انتخاب چسباننده سیمانی پرمایه برای قطعات بنایی مقاوم و با جذب آب کم.

هرگز نباید سیمان بیشتر ازحد نیاز برای تامین مقاومت استفاده شود. در این راستا توجه شود که ملات با مقاومت بیشتر همیشه دیوار مقاوم‌تری را به‌دست نمی‌دهد و نتیجه کار معکوس خواهد بود.

در جدول ۱-۳ نمونه‌هایی از ملات‌های مناسب برای قطعات بنایی مختلف به عنوان راهنما ارائه شده است:

خصوصیات ملات مورد استفاده برای نوع مشخصی از قطعات بنایی به‌طور عمده متغیر

است. هنگامی‌که سنگدانه طبیعی و توزیع اندازه دانه‌ها نیز مناسب باشد، نسبت‌بندی ملات ارئه شده در جدول ۱-۳ مورد استفاده قرار می‌گیرد. انواع ماسه و توزیع اندازه‌های دیگری منجر به تولید ملات با کارایی کم می‌شود. این نقیصه با آهک اضافی جبران می‌شود، اما ازمصرف آهک بیشتر باید پرهیز شود، زیرا تاثیر منفی به‌جای خواهد گذاشت. چنانچه نسبت‌بندی تغییر یابد، انجام آزمون‌های عملی توصیه می‌شود[۱].

جدول ۱-۳- نمونه‌هایی از ملات مناسب برای قطعات بنایی با جذب آب و مقاومت مختلف

نوع قطعه بنایی	جذب آب زیاد مقاومت کم	جذب آب کم مقاومت زیاد
بلوک‌های بتنی توپر و توخالی، سنگ طبیعی	LC ۳۵/٦۵/۵۵۰ (LC ۱:۱:۸)	C ۱۰۰/٤۵۰ (C ۱:٤)
آجررسی و سفالی توخالی، آجر ماسه آهکی	LC ۵۰/۵۰/٦۵۰ (LC ۲:۱:۱۲)	LC ۳۵/٦۵/٦۵۰ (LC ۱:۱:۱۰)
بتن هوادار اتوکلاو شده بلوک‌های خاکی تثبیت‌شده با سیمان	LC ٦۰/٤۰/۷۰۰ (LC ۳:۱:۱٦)	LC ۵۰/۵۰/٦۵۰ (LC ۲:۱:۱۲)
خشت‌های رسی نپخته	L ۱۰۰/۸۰۰ (LC ۱:٤)	LC ٦۰/٤۰/۷۰۰ (LC ۳:۱:۱٦)
L= آهک C= سیمان برای مثال: LC- ۳۵/٦۵/۵۵۰ به‌مفهوم نسبت‌بندی آهک/ سیمان/ ماسه به‌صورت وزنی و LC ۱:۱:۸ به‌صورت حجمی است.		

۱-۵ مشخصات ملات اندودکاری

مشخصات اصلی ملات اندودکاری مشابه مشخصات ملات بنایی است. ویژگی‌های

سامانه اندودکاری به تعدادی از عوامل زیر نیاز دارد:

- ماهیت و شرایط مصالح پشت‌کار (مقاومت و میزان جذب آب)؛
- ماهیت و شرایط رویارویی با عوامل جوی؛
- الزامات عملکردی؛
- نوع اندود؛
- نوع پرداخت یا نمای ظاهری (نقش‌دار یا صاف).

خواص درنظرگرفته شده برای مصالح پشت‌کار شامل موارد زیر است:

- مقاومت: به‌طور کلی مصالح پشت‌کار با مقاومت زیاد به مخلوط‌های اندودکاری با مقاومت نسبتاً زیاد نیاز دارد.
- چسبندگی مکانیکی: برخی مصالح پشت‌کار به‌طور ذاتی دارای چسبندگی فیزیکی مطلوب و برخی دیگر نیاز به تمهیداتی برای تأمین چسبندگی دارند.
- جذب آب: درجه جذب را می‌توان به عنوان یک عامل عمده در دستیابی به چسبندگی مناسب درنظر گرفت. به‌منظور تنظیم جذب، ممکن است به آماده‌سازی با استفاده از افزونه‌های مناسب نیاز باشد.
- دوام: برخی مصالح پشت‌کار به‌طور ذاتی با دوام هستند، درحالیکه دوام برخی دیگر مانند چوب از طریق اندود تامین می‌شود.
- پایداری در برابر نفوذ رطوبت: برخی مصالح پشت‌کار در برابر نفوذ رطوبت پایدار هستند، درحالیکه این خاصیت برای برخی مصالح پشت‌کار دیگر از طریق اندود فراهم می‌شود. علاوه برآن، دراثر نفوذ رطوبت و رسیدن به حالت اشباع در برخی مصالح پشت‌کار، عمل تخریب صورت می‌گیرد.

در جدول‌های ۱-٤ و ۱-۵ به‌ترتیب مشخصات مخلوط‌های مناسب برای اندودکاری بیرونی و مقاومت فشاری آن‌ها براساس کاربردهای مختلف ارائه شده است[٤].

جدول ۱-٤ ترکیب‌بندی مخلوط‌های مناسب برای اندودکاری

مشخصات مخلوط	سیمان : آهک: ماسه	مخلوط آماده آهک: ماسه	سیمان: مواد آماده	سیمان: ماسه با استفاده از روان‌کننده	سیمان بنایی: ماسه
۱	۱ : – : ۳	۱ : ۱۲	۱ : ۳	–	–
۲	۱ : – : ٤ تا ٤–	۱ : ۹	۱ : ٤ تا ٤–	۱ : ۳ تا ٤	۱ : ۲– تا ۳–
۳	۱ : ۱ : ۵ تا ٦	۱ : ٦	۱ : ۵ تا ٦	۱ : ۵ تا ٦	۱ : ٤ تا ۵
٤	۱ : ۲ : ۸ تا ۹	۱ : ٤–	۱ : ۸ تا ۹	۱ : ۷ تا ۸	۱ : ۵– تا ٦–
۵	۱: ۳ :۱۰ تا ۱۲	۱ : ٤	۱ : ۱۰ تا ۱۲	–	–

جدول ۱-۵ کاربرد ملات‌های اندودکاری براساس مقاومت فشاری

مشخصات مخلوط	مقاومت فشاری ۲۸ روزه حداقل – N/mm^2	مشخصات مخلوط ملات اندودکاری	مصالح پشت‌کار نمونه‌ای
۱	۱۲	با مقاومت زیاد، اندود نسبتاً غیرقابل نفوذ با جمع‌شدگی خشک زیاد	آجرهای مهندسی، بتن درجا، بلوک‌های توپر
۲	٦	با مقاومت نسبتاً زیاد	آجر ماسه آهکی، برخی آجرهای نما
۳	٤	با مقاومت متوسط، نفوذپذیری بیشتر از مخلوط با مشخصه ۱، ولی با احتمال کم ایجاد ترک و ترک‌های ریز سطحی	بلوک‌های سبک (با سنگدانه سبک)، برخی آجرهای معمولی
٤	۲	با مقاومت نسبتاً کم	بتن هوادار اتوکلاو شده، برخی آجرهای نسوز
۵	الزامی ندارد	مقاومت کم	مصالح ضعیف در محل محافظت شده

۱-۶ دوام ملات‌های اندودکاری

به‌منظور اطمینان از دوام اندود، تعداد عوامل موثر در خصوصیات آن باید به‌شرح زیر درنظر گرفته شود:

- نفوذ باران و رطوبت بالارونده؛
- مشکلات ناشی از نمک‌های محلول؛
- خوردگی فلز توکار؛
- آسیب‌های ناشی از سایش و ضربه؛
- ترک‌خوردگی و ایجاد ترک‌های ریز سطحی.

یکی از عملکردهای اصلی اندود کمک به دفع آب است. چنان‌چه یک اندود دچار ترک‌خوردگی شود، آب باران ممکن است به‌داخل سامانه اندودکاری نفوذ کند و در طول هوای سرد سبب یخ‌زدگی و تخریب بخشی از اندود شود. علاوه بر آن نفوذ باران ممکن است منجر به نقص چسبندگی بین اندود و مصالح زیر کار شود. اجرای اندود روی دیوار اشباع احتمال خطر کنده شدن آن از سطح مصالح پشت‌کار را به‌دنبال خواهد داشت.

یکی از دلایل اصلی استفاده از ملات اندودکاری محدود کردن نفوذ باران به‌داخل ساختمان است. ورود باران ممکن است سبب ایجاد مشکلات جدی مانند یخ‌زدگی و افت چسبندگی به مصالح پشت‌کار شود. در شرایط محافظت‌شده و معتدل رویارویی با هوازدگی، اندود مورد استفاده باید مطابق با الزامات استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۰۶ و دارای ضریب جذب آب موئینه دسته W1 یا W0 باشد. در شرایط شدید رویارویی با هوازدگی، اندود با ضریب جذب آب موئینه دسته W2 باید مورد استفاده قرار گیرد.

به‌طور معمول اندودکاری در معرض عوامل جوی (مانند برف، باد، آفتاب و باران) قرار می‌گیرد. پایداری در برابر عوامل محیطی ساختمانی که اندودکاری درآن محل اجرا شده است، تحت تاثیر کیفیت اندودکاری قرار خواهد گرفت. دسته‌بندی رویارویی براساس شاخص کج باران و شرایط محیطی زیر صورت می‌گیرد:

- شرایط محافظت شده: این دسته‌بندی براساس مناطق دارای بارش باران نسبتاً کم صورت می‌گیرد که در آن دیوارها در برابر عوامل جوی از طریق پیش‌آمدگی یا

سرپوش محافظت می‌شود.

– شرایط معتدل: این دسته‌بندی برای دیوارهای محافظت شده در برابر عوامل جـوی از طریق پیش‌آمدگی یا سرپوش و ساختمان‌های مجاور با ارتفاع مشابه صورت مـی‌گیـرد. نمونه‌هایی از این نوع دیوارها در بسیاری از مناطق شهری مشاهده می‌شود.

– شرایط سخت: این دسته‌بندی برای دیوارهای در معـرض نیـروی کامـل بـاد و بـاران صورت می‌گیرد. نمونه‌هایی از این نوع دسته‌بندی درمورد ساختمان‌هـای سـاخته شـده روی تپه ونزدیک ساحل است.

تلفیق یک ویژگی برای اندودکاری نیازمند در نظر گرفتن، تعـدادی عوامـل اسـت. ایـن عوامل شامل خصوصیات مصالح پشت‌کار، رویارویی با شرایط جوی و نـوع پرداخـت است[٤].

۱-٦-۱ دوام ملات‌های بنایی

براساس استاندارد ملی ایران شماره ۲-۷۰٦ استفاده از انواع ملات بنایی برای خواصـی مانند پایداری در برابر یخبندان و میزان نمک‌های محلول در شرایط شدید، مشـتمل بـر درجه رویاروئی و خطر اشباع مشخص شده است.

پیش از انتخاب ملات، درجه رویاروئی با موارد یـاد شـده بایـد در نظـر گرفتـه شـود. این‌مورد شامل حفاظت در برابر شرایط اشباعی نیز می‌شود.

سه شرایط محیطی "شدید"، "معتـدل" و " غیرفعـال" بـرای نشـان دادن درجـه خطـر رویاروئی مصالح بنایی در محیط آب، با چرخه‌های زیـاد یـخ‌زدن و آب‌شـدن ناشـی از شرایط آب و هوائی محلی و یا نحوه طراحی ساختمان در نظر گرفته می‌شود.

عواملی که در ارزیابی شرایط محیطی دخالت دارند، شامل شرایط دمـائی و رطـوبتی و وجود هرگونه مواد مهاجم است. در ارزیابی لازم است تجارب محلی یـا سـنتی مـورد استفاده قرار گیرد.

تأثیر پوشش‌دهنده‌های سطحی احتمالی (مانند رنگ) باید مورد ارزیابی قرار گیرد.

مثال‌های ارائه شده در زیر، فقط بایـد در مـوارد ذکـر شـده در "الـف"، " ب" و "پ" درنظر گرفته شود[۳].

الف) ساختمان‌های در معرض شرایط شدید

برای مصالح یا اجزای بنایی که در معرض شرایط شدید هستند، مثال‌های زیر ارائه شده است:

– مصالح بنایی نزدیک به سطح خارجی زمین (دو جهت بالا و پائین) که در آنها خطر زیاد اشباع در اثر یخزدگی وجود دارد.

– جان‌پناه اندود نشده که در آنها خطر زیاد اشباع در اثر یخزدگی وجود دارد و به طور مثال، جان‌پناه‌هایی که روی آنها سرپوش تعبیه نشده است.

– دودکش‌های اندود نشده که در آنها خطر زیاد اشباع در اثر یخزدگی وجود دارد.

– سرپوش‌ها و قرنیز کف در مناطقی که شرایط یخزدگی ممکن است رخ دهد.

– دیوارهای آزاد محوطه که در آنها خطر زیاد اشباع در اثر یخزدگی وجود دارد، برای مثال چنانچه دیوار بدون سرپوش مناسب باشد.

– دیوارهای حائل که در آنها خطر زیاد اشباع در اثر یخزدگی وجود دارد، برای مثال دیوارهائی که بدون سرپوش مناسب بوده یا سطح آنها با موادآب بندکننده پوشش داده نشده است.

ب) ساختمان‌های در معرض شرایط معتدل

روش‌های مناسب جلوگیری از اشباع مصالح بنایی به شرح زیر ارائه می‌شود:

– حفاظت بالای دیوار با استفاده از سقف با پیشامدگی یا سرپوش .

– تجهیز کف پنجره به آبچکان.

– استفاده از لایه‌های ضدرطوبت در پی و بالای دیوار.

پ) ساختمان‌های در معرض شرایط غیرفعال

در رابطه با مصالح و اجزای بنایی که در معرض شرایط غیرفعال قرار دارند، مثال‌های زیر ارائه شده است:

– با توجه به شرایط آب و هوائی، حفاظت مناسب مصالح بنایی در دیوارهای خارجی انجام شود. برخی از تجارب محلی نشان می‌دهد که حفاظت از طریق پوشش با لایه ضخیم اندود مفید است.

۱-۷ ملات‌های اندودکاری عایق‌حرارتی

ملات‌های اندودکاری دارای انواع مختلف هستند. به‌عنوان مثال نوعی از آن که اندود عایق حرارتی است به‌عنوان اندود زیرلایه در دیوارهای خارجی به‌ویژه تعمیر ساختمان‌های قدیمی و جدید مورد استفاده قرارمی‌گیرد. به واسطه خواص عایق حرارتی مطلوب سبب صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کاهش هزینه گرمایش و درنتیجه کاهش عوامل مخرب زیست محیطی می‌شود. این نوع اندودها قابلیت کاربرد روی هر نوع مصالح ساختمانی و پشت‌کار مانند آجر رسی، آجر ماسه آهکی و بتن هوادار اتوکلاو شده را دارد.

این نوع اندودها در کارخانه مخلوط و به صورت خشک عرضه می‌شود و پس از مخلوط با آب فرآیند گیرش آن‌ها به صورت هیدرولیکی انجام خواهد شد. این نوع اندودها را پس از اختلاط می‌توان با استفاده از دستگاه‌های متداول پاششی اجرا کرد.

به دلیل ماهیت معدنی بودن اجزای تشکیل دهنده این نوع اندودها، به عنوان مصالح سبز شناخته می‌شود. هنگام کار، این نوع اندودها را می‌توان در یک لایه به ضخامت ۲۰ تا ۵۰ میلی‌متر و در دولایه به ضخامت تا ۸۰ میلی‌متر اجرا کرد. این اندود پس از سخت شدن در مقابل بخارآب نفوذناپذیر، دافع آب و پایدار در برابر شرایط جوی است. قابلیت هدایت حرارتی آن کم و بنابراین دارای خواص عایق حرارتی است. براساس تحقیقات انجام شده ضریب هدایت حرارتی، ضریب انتقال حرارتی و مقاومت حرارتی برای چند نوع اندود عایق حرارتی با ضخامت‌های مختلف در جدول ۱-٦ ارائه شده است[۵].

۱-۷-۱ مصالح پشت‌کار

ماهیت مصالح پشت‌کار باید دارای کیفیت مناسب و عاری از موادی باشد که با چسبندگی اندود تداخل کند (مانند مواد رهاساز، گردخاک و شوره زدگی). معمولاً پیش از اجرای اندود تازه باید اندود قدیم، رنگ یا سایر پوشش‌های آسیب‌دیده زدوده شود.

جدول ۱-٦ ضریب انتقال حرارت برخی اندودهای عایق براساس نوع و ضخامت

مشخصه اندود	ضریب هدایت حرارت W/m.K	ضریب انتقال حرارت برای اندود اجرا شده با ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر $W/m^2.K$	مقاومت حرارتی برای اندود اجرا شده با ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر $m^2.K/W$	ضریب انتقال حرارت برای اندود اجرا شده با ضخامت ۲ سانتی‌متر $W/m^2.K$	مقاومت حرارتی برای اندود اجرا شده با ضخامت ۲ سانتی‌متر $m^2.K/W$
۱	۰/۰۷۵	۵/۰۰۰	۰/۲۰۰	۳/۷۵۰	۰/۲٦۷
۲	۰/۰۹۷	٦/٤٦۷	۰/۱۵۵	٤/۸۵۰	۰/۲۰٦
۳	۰/۰۸٦	۵/۷۳۳	۰/۱۷٤	٤/۳۰۰	۰/۲۳۳
٤	۰/۰۹۱	٦/۰٦۷	۰/۱٦۵	٤/۵۵۰	۰/۲۲۰

۱-۷-۲ رعایت نکات کاربردی

هنگام استفاده از سامانه اندودکاری عایق با توفال‌کوبی روی نمای ساختمان‌های قدیمی دارای اندود ترد و شکننده، ترک‌دار، الزامی به پیش‌عمل‌آوری یا زدودن رنگ یا سایر پوشش‌ها یا تعمیر اندود قدیم یا آسیب‌دیده نیست. معمولاً این نوع سامانه اندودکاری به‌صورت قاب‌بندی اجرا می‌شود. ظرفیت چسبندگی این نوع اندودها هنگام اجرا بر روی اندود پشت‌کار با پیش‌خیس کردن بهبود می‌یابد. در همه موارد، اندودقدیمی باید حداقل در حدود ۸۰ سانتی‌متر اطراف منطقه آسیب‌دیده و ۲ سانتی‌متر از عمق درزها برداشته شود. چنانچه اجرای اندود در زمان‌های مختلف صورت گیرد، بنابراین به‌منظور جلوگیری از ایجاد ترک درحدفاصل دو اجرا باید تمهیدات لازم درنظر گرفته شود.

ملاتی که گیرش اولیه آن انجام شده است، نباید با اضافه کردن آب یا ملات تازه مورد استفاده قرار گیرد. اجرای ملات نباید در دمای کمتر از ۵+ درجه سلسیوس انجام شود. دما و رطوبت نسبی مناسب برای اجرای ملات معمولاً ۲۰+ درجه سلسیوس و ٦۵ درصد است. دمای کم سبب تاخیر در گیرش و دمای زیاد سبب کاهش کارایی و تسریع در زمان گیرش می‌شود. به‌طورکلی باید از خشک شدن سریع ملات اندودکاری به‌ویژه در نور خورشید و باد محافظت شود. در صورت نیاز باید سطح اندود با آب خیس شود. سطح اندود باید عاری از هرگونه ترک باشد. ترک‌های مویی ناشی از

جمع‌شدگی نباید درنظر گرفته شوند، زیرا سبب افت کیفیت ملات نمی‌شود. اجرای این نوع اندودها روی مصالح پشت‌کار گچی مجاز نیست. در صورت استفاده از این نوع اندودها روی بناهای تاریخی، توصیه می‌شود که به صورت آزمایشی در فضای در حدود یک متر مربع اجرا شود[۵].

۱-۸ عملکرد ملات‌های اندودکاری داخلی و بیرونی

به‌طور کلی ملات مخلوطی از یک چسباننده، سنگدانه و آب اختلاط است و به دو دسته اندودکاری داخلی و بیرونی و ملات بنایی تقسیم می‌شود. هریک از دو دسته ملات براساس نوع مصرف مشخص می‌شوند. همچنین ملات‌ها برحسب ماهیت و فرآیند تولید به شرح زیر تقسیم می‌شوند:

– ماهیت: ملات تازه (آماده مصرف) یا ملات سخت شده.

– فرآیند تولید: ملات کارگاهی (اختلاط در محل) یا ملات آماده (اختلاط در کارخانه و حمل آن برای مصرف).

با انواع مصالح امکان اجرای اندود روی ساختمان‌های آجری، سنگی، با قاب نیمه چوبی و فلزی میسر است. با اندودکاری می‌توان سطح با دوامی را که به‌آسانی قابل تمیز شدن است روی دیوارها و سقف‌های صاف و منحنی ایجاد کرد. اندودکاری به‌دلایل متعددی مورد استفاده قرار می‌گیرد که مهمترین آن‌ها تأمین آب‌بندی، عایق حرارتی و زیبایی ظاهری ساختمان است.

شکل و نوع اندودکاری داخلی و بیرونی به‌عنوان ویژگی و ظاهر هرساختمان درنظر گرفته می‌شود. اندودکاری داخلی یا بیرونی به‌عنوان پوسته محافظ ساختمان عمل می‌کند و وظیفه تعدادی از عملکردهای مختلف آن را به‌عهده دارد. سامانه اندودکاری داخلی یا بیرونی از طریق انتخاب مصالح ساختمانی در طول فاز طراحی ساختمان مشخص می‌شود. دیوارها، اندودکاری داخلی، اندودکاری بیرونی و رنگ‌ها یا پوشش‌ها باید به‌گونه‌ای انتخاب شوند که مناسب یکدیگر باشند و به‌طور صحیحی در کنار

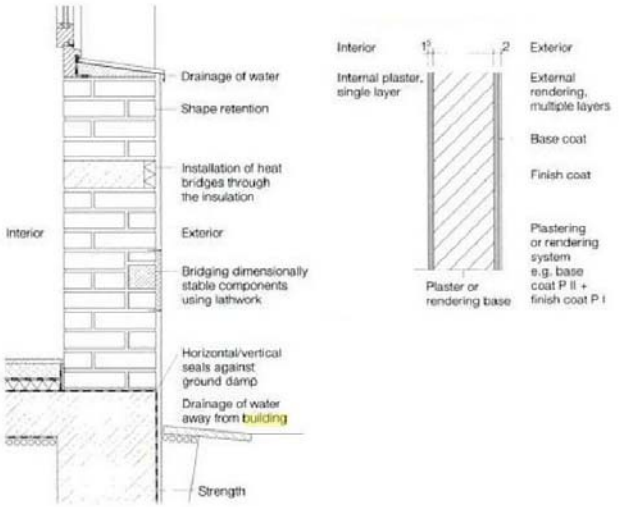
یکدیگر در یک سامانه عمل کنند.

اندودکاری داخلی و بیرونی در آخرین فاز فرآیند ساختمان‌سازی به‌کار برده می‌شود و اغلب در زمانی که بودجه پیش‌بینی شده برای یک ساختمان به انتها رسیده است، انجام می‌شود. استفاده نامناسب از مواد تشکیل‌دهنده اندود در سامانه اندودکاری منجر به آسیب‌دیدگی دائمی اجزای ساختمان خواهد شد. برای دستیابی به یک سامانه با دوام، اندودکاری باید به نحو مطلوبی طراحی و در زمان مناسبی اجرا و به‌طور صحیحی نگه‌داری شود. در شکل ۱-٤ آماده‌سازی یک ساختمان برای اجرای اندودکاری و دیوار اندود شده مشاهده می‌شود[٦].

شکل ۱-٤ اندودکاری یک ساختمان پیش و پس از اجرا

۱-۹ اجرای اندودکاری داخلی و بیرونی

اندودکاری داخلی یا بیرونی به‌مفهوم اجرای ملات دریک یا چند لایه روی دیوار یا سقف با ضخامت مشخص است. خواص نهایی ملات فقط پس از سخت شدن ایجاد می‌شود. در شکل ۱-۵ نمونه‌هایی از سامانه اندودکاری مشاهده می‌شود.



شکل ۱-۵ نمونه‌هایی از سامانه اندودکاری

بیشترین جزء تشکیل دهنده ملات، سنگدانه است. جزء دیگر ملات به مقدار کمتر چسباننده است که سبب به‌هم پیوستن اجزای دیگر ملات می‌شود و در فرآیند سخت شدن نقش دارد. همچنین در ملات در مقادیر کم از افزودنی‌های تامین کننده خواص ویژه استفاده می‌شود.

در زمان‌های گذشته استفاده ازملات ماسه – آهک به نسبت ۱: ۳، در لایه زیرین اندودکاری و از ملات ماسه– آهک با آهک بیشتر در لایه نهایی به منظور تامین سطحی صاف متداول بوده است. ملات‌های دارای مقادیر کمتر چسباننده به‌عنوان ملات‌های ضعیف‌تردر نظر گرفته می‌شوند. در این راستا ملات‌های دارای چسباننده بیشتر سبب ایجاد جمع‌شدگی و ترک‌های ریز سطحی می‌شوند (اندودهای گچی مستثنی بوده و از نظر حجمی ثابت هستند).

ضخامت‌های استاندارد برای اجرای ملات با کاربرد بیرونی باید ۲۰ میلی‌متر (حداقل ۱۵ میلی‌متر) و با کاربرد داخلی ۱۵ میلی‌متر (حداقل ۱۰ میلی‌متر) باشد. نوع ملات،

روش کار و سامانه اندودکاری انتخاب شده بستگی به سطح عمل‌آوری شده، بارگذاری مورد انتظار و پرداخت سطح مورد نظر دارد.

از آن‌جایی‌که درساختمان‌های قدیمی مقدار رطوبت مصالح مختلف به‌حد تعادل رسیده است، بنابراین استفاده از پوشش‌های آب‌گریز سبب اغتشاش در این تعادل شده و منجر به جمع‌شدگی یا شوره‌زدگی می‌شود[٦].

۱-۱۰خواص ملات‌های اندودکاری داخلی و بیرونی

ملات‌های اندودکاری داخلی و بیرونی باید دارای خواصی به شرح زیر باشد:

- مدول یانگ (ضریب ارتجاعی) کمتر از مصالح پشت‌کار مربوط به سطح مورد اجرا؛
- ضریب جذب آب ۰/۵ $kg/m^2.h^{0.5}$ ؛
- مقاومت چسبندگی بیشتر از ۰/۱ N/mm^2؛
- مقاومت فشاری کمتر از مصالح پشت‌کار، عوامل تعیین کننده دستیابی به مقاومت معمولاً نوع چسباننده مورد استفاده و نسبت چسباننده به سنگدانه است.

نقش اندودکاری بیرونی در هم‌سطح کردن آجرکاری، پوشاندن شکاف‌های کوچک و حفاظت ساختمان در برابر عوامل جوی است. همچنین نقش دیگر آن تامین نمای ساختمان و موارد تزئینی است[٦].

۱-۱۱ اجزای تشکیل‌دهنده ملات اندودکاری

۱-۱۱-۱ چسباننده‌های معدنی:

چسباننده‌های معدنی مورد استفاده در ملات شامل سیمان، آهک هیدراته و گچ ساختمانی است.

۱-۱۱-۲ سنگدانه‌ها، افزودنی‌ها و پرکننده‌ها:

سنگدانه بیشترین جزء تشکیل‌دهنده در مخلوط ملات است که با استفاده از چسباننده‌ها به یکدیگر چسبیده و روی کیفیت خواص اندود مانند چگالی، تخلخل، مقاومت

فشاری و هوازدگی و پایداری در برابر یخ‌زدگی تاثیرگذار است. سنگدانه‌ها به شرح زیر رده‌بندی می‌شود:

– با بافت متراکم: ماسه طبیعی، ماسه شکسته، شن، مواد دانه‌ای؛

– با بافت متخلخل: پوکه معدنی، توف، رس منبسط شده، خرده‌های آجر؛

– با خواص هیدرولیکی: تراس، مواد پوزولانی؛

– رنگی: بازالت سیاه، شیست، ماسه کوارتزی رنگی، سنگ آذرین، سینیت سبز؛

– درخشنده: میکا، صدف خردشده، خرده شیشه؛

– ضایعات سنگی: سنگ آهک، ماسه آهک، توف سنگ دانه‌ای.

بافت ویژه پرداخت از طریق انتخاب دقیق نوع و ترکیب‌بندی ماسه به‌دست می‌آید. روشی که اندود اجرا می‌شود (با دست یا به‌وسیله دستگاه)، به‌ویژه در صورت استفاده از سنگدانه‌های درشت و افزودنی‌ها تاثیرگذار است. چنانچه در مخلوط اندود از سنگدانه درشت استفاده شود، اجرای اندودکاری با استفاده از دستگاه میسر نیست ولی به‌آسانی با دست انجام می‌شود. مخلوطی از ماسه با اندازه‌های مختلف، سبب کاهش خلل و فرج (فاصله بین دانه‌ها) می‌شود. مقدار چسباننده مورد نیاز برای مخلوط اندود بستگی به اندازه و شکل دانه‌های ماسه (سوزنی، تطویل و تورق) یا تراکم آن دارد. ماسه با دانه‌های درشت‌تر تاثیر بیشتری روی بافت و ظاهر اندود دارد. رنگ اندود از طریق ماسه ریزدانه و رنگ چسباننده تعیین می‌شود[٦].

۱-۱۱-۲-۱ افزودنی

معمولاً افزودنی‌ها توسط تولیدکنندگان مختلف تولید می‌شود و هر یک دستورالعمل مربوط به خود را دارد. افزودنی‌های مورد استفاده در ملات اندودکاری در زمینه دافع آب، تخلخل، چسبندگی به سطح پشت‌کار، کشسانی و زمان گیرش عمل خواهد کرد. معمولاً افزودنی‌ها مواد غیرمعدنی هستند[٦].

۱-۱۱-۲-۲ افزونه‌ها

استفاده از افزونه‌ها در ملات روی خواص آن تاثیرگذار است. درصورتی می‌توان از افزونه‌ها استفاده کرد که تاثیرنامطلوب روی ملات نداشته باشد. این مواد نباید در مقاومت فشاری، دوام، گیرش و سخت شدن آن تغییری ایجاد کند[٦].

۱-۱۱-۲-۳ پرکننده‌ها

پرکننده‌ها معمولاً از ضایعات سنگ‌بری یا کارخانه‌های سرامیک هستند و در اندود لایه نازک مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در شکل ۱-٦ انواع سنگدانه، افزودنی و افزونه مورد استفاده در اندودکاری مشاهده می‌شود[٦].

شکل ۱-٦ انواع سنگدانه، افزودنی و افزونه مورد استفاده در اندودکاری (به ترتیب از چپ به راست)

۱-۱۱-۳ الیاف و مواد تقویت کننده

این مواد سبب بهبود مقاومت خمشی و کششی ملات می‌شود و امکان ترک‌خوردگی در ملات را کاهش می‌دهد. موی حیوانات، نی، الیاف گیاهی و پشم به عنوان مواد تقویت کننده در اندودهای به‌کاررفته در ابنیه تاریخی، مورد استفاده قرار می‌گرفتند[٦].

۱-۱۱-٤ آب اختلاط

آب لوله‌کشی شهری مناسب است.

۱-۱۱-۵ سنگدانه و رنگدانه

سنگدانه‌ها و رنگ‌دانه‌ها در ملات در زمینه تزئینی و زیبایی نما نقش زیادی دارند. سطح نما به‌دست آمده پس از اجرای ملات، با توجه ماهیت مواد و مصالح به‌کار رفته در مخلوط، تعیین می‌شود. تنوع این موارد در اندودکاری ابنیه تاریخی به‌وضوح دیده می‌شود.

روش‌های مختلف زیادی در مورد اندودکاری داخلی و بیرونی وجود دارد. درحال حاضر تعداد زیادی از روش‌های دستی به صورت استاندارد اجرا می‌شود که دارای خواص پایدار در برابر ترک‌خوردگی و غیرقابل نفوذ هستند[٦].

۱-۱۱-۵-۱ رنگدانه‌های ملات

رنگدانه‌های مورد استفاده درملات‌های اندودکاری داخلی و بیرونی باید براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۱٤۹، باشد. مقدار مورد استفاده رنگدانه‌ها باید به‌اندازه‌ای باشد که کیفیت ملات را کاهش ندهد. معمولاً مقدار مناسب رنگدانه حداکثر به‌میزان ۵ درصد وزنی چسباننده خشک است. افزایش زیاد پودر خشک رنگ‌دانه سبب خشک‌تر شدن مخلوط ملات خواهد شد. برای تأمین پررنگی در ملات نیاز به مقدار بیشتر رنگدانه است که سبب ایجاد مشکلاتی خواهد شد. برای رنگی کردن پوشش نهایی می‌توان از رنگدانه‌های معدنی یا غیرمعدنی و یا از رنگ استفاده کرد. رنگدانه‌های غیرمعدنی معمولاً به‌صورت شیمیایی تولید می‌شوند و رنگدانه‌های معدنی دارای منشاء معدنی هستند[۷].

رنگدانه‌های طبیعی شامل موارد زیر است، به‌طور مثال:

– رنگدانه‌های معدنی: این نوع رنگدانه از سنگ معدن با خلوص زیاد به‌دست می‌آید و معمولاً به‌صورت خشک و خیلی‌ریزدانه (گل اخرا، اکسید آهن، انواع خاک‌های قهوه‌ای و غیره) عرضه می‌شود؛

– رنگدانه‌های معدنی که با حرارت دادن گوگرد، خاک رس، سودا به‌دست می‌آید (به‌رنگ‌های آبی، شرابی، سیاه)؛

- رنگدانه‌های حاصل از خاک آتشفشانی (به‌رنگ‌های زرد، نارنجی و آبی).

محدوده گسترده‌ای از رنگ‌ها را می‌توان در ملات اندودکاری به‌دست آورد. همه ملات‌های اندودکاری داخلی را می‌توان رنگی کرد. به عنوان مثال اندود آهکی با خاکه زغال دارای یک سایه زیبای خاکستری است. برای ملات‌های اندودکاری پایدار در برابر هوازدگی، انتخاب چسباننده مناسب حائز اهمیت است و نیاز به رنگ ندارد. هر نوع رنگ یا پوشش در سامانه اندودکاری باید به دقت انتخاب شود. انتخاب رنگ نامناسب منجر به خراب شدن کل سامانه اندودکاری می‌شود. به‌عنوان مثال اندود آهکی پوشش داده شده با یک رنگ آب‌بند کننده سبب می‌شود که تبادلی بین دی‌اکسید کربن با هوا صورت نگیرد و آب به خارج منتقل نشود. هر دو فرآیند برای سخت شدن تدریجی اندود ضروری است و در طول بیش از یک‌سال رخ می‌دهد. پوشش آب‌بند کننده سبب مسدود شدن اندود شده به‌گونه‌ای که ماسه‌های اندود زیر پوشش آب‌بند کننده به قسمت زیر پوشش منتقل وسبب کاهش مقاومت می‌شود. در شرایط آب و هوایی شدید، هنگام بارش باران، آب بیشتری از سطح پوشش خارج شده و دوباره خشک می‌شود. در این راستا در مورد ملات آهکی با جذب آب موئینه زیاد، عمل خیس شدن رخ می‌دهد. با توجه به اینکه معمولاً برای ملات‌های اندودکاری داخلی و خارجی عمر بهره‌برداری حدود ۵۰ سال پیش‌بینی می‌شود، ولی عمر این نوع ملات‌ها بسیار کوتاه خواهد بود.

اندودهای با رنگ تیره مطلوب‌ترند، زیرا رنگ‌های تیره‌تر به‌واسطه جذب تابش نور خورشید، دارای دمای سطحی بیشتری نسبت به رنگ سفید ساده است و این امر سبب می‌شود که اندود با سرعت بیشتری پس از باران خشک شود و از رشد جلبک و خزه جلوگیری به عمل آورد.

۱-۱۲ نکات مهم در اندودکاری

در مورد اندودکاری قوانین و قواعد زیر باید درنظر گرفته شود:

- اطمینان از چسبندگی مکانیکی بین اندود و مصالح پشت‌کار (تراشیدن هرگونه ناهمواری‌های سطحی پیش از اجرای اندودکاری).

- استفاده از سنگدانه درشت هنگام استفاده از دستگاه اندود پاش و در ملات زیرلایه.
- استفاده از دستگاه اندودپاش مناسب به‌گونه‌ای که عمل پاشش به‌نحو مطلوبی انجام گیرد (به‌ویژه برای ملات زیرلایه).
- بازرسی سطح اندودکاری در صورت نیاز به پیش خیس‌کردن (به‌ویژه در مورد ملات آهکی در هوای گرم).
- اطمینان از سازگاری مقاومت اندود و سطح پشت‌کار. در این راستا اندود نباید دارای مقاومتی بیشتر از مصالح پشت‌کار باشد.

تجربیات نشان می‌دهد که اکثر جابه‌جایی در چند ماه اول پس از تکمیل اندودکاری رخ می‌دهد. به‌منظور کاهش احتمال آسیب‌دیدگی ساختمان، لازم است وقفه زمانی کافی پیش از شروع اندودکاری داخلی و بیرونی درنظر گرفته شود. در مورد آجرکاری این وقفه زمانی به بیش از دوسال طول خواهد کشید تا رطوبت زیاد باقی‌مانده به‌طور کامل خشک شود. خطر ظاهر شدن ناهمواری در سطح اندودکاری (ناشی از جمع شدگی) بسیار زیاد است. چنانچه اندودکاری بیرونی پیش از اندودکاری داخلی و کرم‌بندی انجام شود، سبب ایجاد ترک به‌ویژه در هوای سرد خواهد شد[٦].

۱-۱۳ انواع مختلف اندودکاری

۱-۱۳-۱ اندودهای یک لایه[1]

این نوع اندودکاری نیاز به اندود زیرلایه ندارد و در راستای تامین برخی خواص مورد نظر عمل می‌کند. اندودهای یک لایه معمولاً برپایه آهک یا پلیمر بوده و در رنگ‌های زیادی تولید می‌شود[٦].

۱-۱۳-۲ اندودهای رنگی

این نوع اندودها نیز برپایه آهک یا پلیمر بوده و در رنگ‌های مختلف وجود دارد. این نوع اندودها به‌صورت پیش مخلوط شده عرضه شده و در طول فرآیند تولید رنگی

1- Monocouche

می‌شود. این نوع اندودها را می‌توان از طریق پاشش اجرا کرد و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است (کاهش هزینه کارگر و برپایی داربست). همچنین این اندودها نیاز به رنگ‌کاری ندارد و روی دامنه گسترده‌ای از سطوح قابل اجرا است. با استفاده از این نوع اندود امکان دستیابی به پرداخت از نوع تگرگی میسر می‌شود[٦].

۱-۱۳-۳ اندود سیمانی

اندودهای سیمانی جدید به‌مراتب سخت‌تر و مقاوم‌تر از اندود آهکی هستند. اندودهای آب‌بندی شده یا رنگی را می‌توان در شرایط مشخص به‌منظور جلوگیری از نفوذ رطوبت مورد استفاده قرار داد. در این نوع اندودها معمولاً از چسباننده سیمان پرتلند معمولی استفاده می‌شود. به‌منظور افزایش دوام و انعطاف‌پذیری این نوع اندود، می‌توان به مخلوط سیمان، آهک هیدراته اضافه کرد.

معمولاً اندودهای سیمانی ارزان‌تر از اندودهای آهکی یا پلیمری هستند. به دلیل ارزانی و آسانی کاربرد تمایل به مصرف آن در ساختمان بیشتر است. در صورت استفاده از افزودنی‌ها در اندود سیمانی، به‌سرعت سخت می‌شود، اما خطر ترک‌خوردگی و پوسته‌شدن وجود دارد، به‌ویژه هنگامی‌که هرگونه جابه‌جایی در مصالح پشت‌کار رخ دهد یا میزان رطوبت در طول اندودکاری زیاد باشد.

مصالح پشت‌کار مناسب: اندود سیمانی با ساختمان‌های جدید سازگار است. هنگام اجرای اندودسیمانی روی دیوار، لازم است که دیوار به‌طور دائم خشک و عاری از نقص‌هایی مانند جابه‌جایی اطراف پنجره‌ها باشد. استفاده از مش فلزی توصیه می‌شود [٦].

۱-۱۳-٤ اندود پلیمری

اندودهای پلیمری جدیدترین فرآورده اندودکاری هستند که در مخلوط آن از سیمان پرتلند سفید و مواد دافع آب سیلیکونی برای بهبود خواص مورد انتظار استفاده شده است. مواد دافع آب سیلیکونی از یک طرف در زمینه کاهش جذب آب از سطح اندود عمل کرده و از طرف دیگر عبور بخارآب را از اندود فراهم می‌کند و سبب تنفس مصالح پشت‌کار می‌شود. با استفاده از پوشش‌های تقویت شده با نایلون، زمینه ایجاد

مقاومت زیاد پوشش نهایی فراهم می‌شود. این نوع اندودها در اندودکاری یک‌لایه مناسب هستند و نیاز به زیرلایه ندارد. اندودهای یک لایه معمولاً روی دیوارهای تازه ساخته شده با بلوک‌های سبک به‌کار می‌رود. در این رابطه لازم است به‌منظور اطمینان از عدم ایجاد ترک، درزهای انبساط درنظر گرفته شود. نبشی‌های کنج از جنس PVC همرنگ با اندود باید مورد استفاده قرار گیرد تا هماهنگی رنگ در ظاهر سامانه تامین شود.

اندودهای پلیمری در رنگ‌های متنوع و نقش‌های مختلف عرضه می‌شود. به طور معمول اندودهای پلیمری ملات‌های از پیش مخلوط شده هستند و هنگام اجرا فقط نیاز به افزایش آب تمیز دارند. این عمل سبب می‌شود که کیفیت اندود ثابت و پرداخت یکنواخت‌تری حاصل شود.

مصالح پشت‌کار مناسب: بلوک‌های سبک، آجرهای مهندسی، ساختمان‌های با قاب فولادی، تخته‌های عایق، تخته‌های عایق فنلی، ورق‌های عایق پلی‌استایرن و توری فلزی. برخی مصالح پشت‌کار دیگری ممکن است مناسب باشد[٦].

در شکل ۱–۷ ساختمان با نمای پلیمری مشاهده می‌شود.

شکل ۱–۷– ساختمان با نمای پلیمری

۱-۱۳-۵ اندود عایق حرارتی

سامانه‌های اندود عایق حرارتی شکلی از دیوار عایق بیرونی است و روشی برای حفظ محیط زیست و دستیابی به ساختمان سبز است. معمولاً تا ۳۵٪ افت حرارتی از طریق دیوارهای بیرونی یک ساختمان صورت می‌گیرد (شکل۱-۸) [٦]. برخی از ساختمان‌ها با دیوارهایی مانند دیوار خارجی غیرباربر، دیوار توپر، پانل‌های بتنی پیش‌ساخته و دیوار بیرونی با قاب فولادی یا چوبی ساخته می‌شوند که به‌عنوان دیوارعایق بیرونی مناسبند، این نوع دیوارها را می‌توان با اندودهای عایق حرارتی، عایق‌کاری کرد. دیوارهای عایق بیرونی برای انبار و گاراژ مطلوب هستند به‌گونه‌ای که عایق‌کاری در بیرون ساختمان انجام می‌شود. انواع مختلفی از مواد عایق‌کاری مانند ورق‌های پلی‌استایرن، تخته‌های الیاف چوب و پشم معدنی متراکم در ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد که لازم است برای حفظ آن‌ها از پوشش نهایی استفاده شود. اندودهای نهایی برای فرآورده‌های عایق‌کاری عبارتند از اندود پلیمری رنگی، اندود آهکی رنگی و اندود لایه نازک با پرداخت آکریلیکی. پوشش های طرح آجر یا سنگ را می توان به منظور فراهم آوردن ظاهر زیبا، روی مصالح عایق کاری بیرونی اجرا کرد[٦].

شکل ۱-۸- شمای افت حرارت برای یک ساختمان متداول

ورق‌های عایق‌کاری در ضخامت‌های از ۲۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر وجود دارند که مقدار U آن‌ها متفاوت است. تخته‌های عایق به دقت و با مهارت نصب می‌شوند تا چسبندگی آن‌ها به اجزای ساختمانی به اندازه کافی فراهم شود. نصب دیوارهای عایق بیرونی نیاز به طراحی و آماده‌سازی دارد. به‌علاوه فرآورده‌های عایق‌کاری مختلفی وجود دارند که دارای خواص عایق بوده و مشابه اندودهای آهکی سنتی اجرا می‌شود.

مصالح پشت‌کار مناسب: دیوارهای بیرونی غیرباربر، دیوار توپر، انبار، گاراژ، ساختمان‌های با قاب چوبی، ساختمان‌های با قاب فلزی، بلوک‌های سبک، خانه‌های سنگی و پیش‌ساخته. برخی مصالح پشت‌کار دیگری ممکن است مناسب باشد[٦].

۱-۱۳-٦ اندود لایه نازک سبک

اندود لایه نازک سبک نوعی اندود پلیمری است. این نوع اندودها در دو لایه اجرا می‌شوند. دارای مش تقویت کننده و ضخامت کلی بین ۸ و ۱۲ میلی‌متر است. این نوع اندودها جایگزین مناسب اندود سیمانی است، اما عملکرد و دوام آن‌ها بسیار مطلوب است. اندودهای لایه نازک معمولاً روی بلوک‌های سبک، بلوک‌های سیمانی معمولی، آجر یا تخته‌های عایق اجرا می‌شوند. کاربرد آن‌ها سریع و به‌آسانی انجام می‌شود و به‌دلیل حذف هزینه کارگر و داربست از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. در شکل ۱-۹ نمونه‌ای از مش تقویت کننده در اجرای اندودکاری مشاهده می‌شود[٦].

شکل ۱-۹- نمونه‌ای از مش تقویت کننده در اجرای اندودکاری

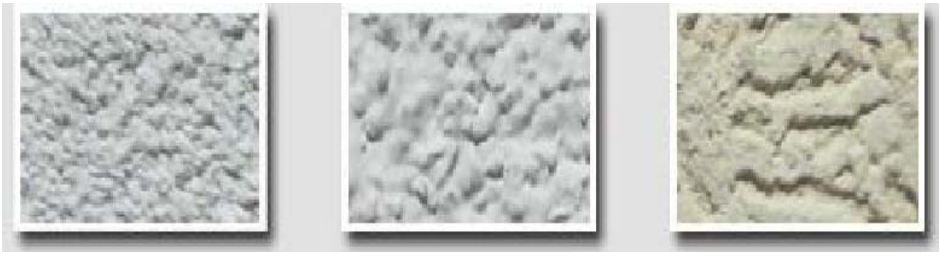
مصالح پشت‌کار مناسب: بلوک‌های سبک، بلوک‌های سیمانی معمولی، آجر یا تخته‌های عایق. برخی مصالح پشت‌کار دیگری ممکن است مناسب باشد.

۱-۱۳-۷ اندود آکریلیکی

اندود آکریلیکی یک پوشش نهایی برای اندود است. این نوع اندود دارای سنگدانه است که سبب ایجاد ظاهری زیبا در نما می‌شود. اندود آکریلیکی را می‌توان روی اندود تازه و اندود موجود اجرا کرد. از خواص اندود آکریلیکی آب‌بندی کردن سامانه است. اندود آکریلیکی در رنگ‌ها و نقش‌های مختلف موجود بوده و اندازه سنگدانه آن از ۱ تا ۳ میلی‌متر است.

برای مثال در شکل ۱-۱۰ به‌ترتیب اجرای اندود آکریلیکی با سنگ‌دانه با اندازه دانه‌های ۱، ۲ و ۳ میلی‌متر مشاهده می‌شود. شایان ذکر است که اجرای اندود دارای سنگدانه با اندازه ۳ میلی‌متر با استفاده از ماله پلاستیکی انجام شده است. در اندودهای آکریلیکی به‌منظور جلوگیری از ترک‌خوردگی و ایجاد دوام از الیاف تقویت‌کننده استفاده می‌شود. معمولاً اجرای این نوع اندود هم به‌طریق دستی با استفاده از ماله از جنس استیل و هم به‌روش پاششی قابل انجام است. پوشاندن نواقص کوچک ایجاد شده در اندود و تغییر در آن با استفاده از این نوع اندود امکان‌پذیر است. با استفاده از روش پاششی اجرای اندود پاششی زبر به‌آسانی صورت می‌گیرد[٦].

مصالح پشت‌کار مناسب: سامانه اندود لایه نازک سبک، دیوار آجری و سنگی با اندود سیمانی با کیفیت و شرایط مطلوب.



شکل ۱-۱۰ نمونه‌هایی از اندودهای آکریلیکی اجرا شده دارای سنگدانه با اندازه‌های ۱ ، ۲ و ۳ میلی‌متر

فصل دوم

تحقیق و بررسی برای ساخت نوعی ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی

۲-۱ کلیات

همان‌گونه که در فصل ۱ ذکر شد، سامانه‌های اندود عایق، نوعی دیوار عـایق بیرونـی و روشی برای حفظ محیط زیست و دستیابی به ساختمان سبز است.

انواع مختلفی از مواد عایق‌کاری مانند ورق‌های پلی‌استایرن، تخته‌هـای الیـاف چـوب و پشم معدنی متراکم در ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد که لازم اسـت بـرای حفـظ آن‌ها از پوشش نهایی استفاده شود. این نوع اندودها علاوه بـر خـواص عـایق حرارتـی به‌دلیل سنگدانه سبکی که در ساختار آن استفاده می‌شود، در کاهش چگالی اندود مـوثر است و معمولاً کاربرد آن روی بلوک‌های سبک، بلوک‌های سیمانی سـبک، بلـوک‌هـای سیمانی معمولی، آجر یا تخته‌های عایق است.

اجرای پروژه حاضربه‌منظوردستیابی به دانش ساخت نوعی ملات انـدودکاری سـبک و عایق حرارتی است. در این راستا سعی شده است که از مواد و مصالحی اسـتفاده شـود که این خصوصیات را برآورده سازد.

۲-۲ هدف و روش انجام تحقیق

۲-۲-۱ هدف تحقیق

هدف از انجام این تحقیق ساخت نوعی ملات اندودکاری با تامین خواص سبکی و عایق حرارتی است.

۲-۲-۲ روش انجام تحقیق

روش انجام تحقیق به شرح زیر بوده است:

- جمع‌آوری و بررسی اسناد و مدارک فنی مرتبط در زمینه انواع ملات‌های اندودکاری سبک و عایق حرارتی.
- جمع بندی اطلاعات فنی گردآوری شده در زمینه مربوط.
- تهیه مواد و مصالح مختلف مورد نیاز برای ساخت ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی (شامل یک نوع چسباننده، دو نوع پرکننده وسه نوع افزونه).
- بررسی کیفیت مواد و مصالح مورد استفاده در ساخت ملات از طریق آزمون‌های استاندارد.
- ساخت ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی با مواد و ترکیب‌بندی مختلف.
- بررسی‌های آزمایشگاهی روی ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی ساخته شده با مواد و ترکیب‌بندی مختلف در زمینه تعیین خواص فیزیکی، مکانیکی و دوام براساس استانداردهای مربوط .
- بررسی نتایج به دست آمده از ساخت ملات سبک و عایق حرارتی براساس ویژگی‌های استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۰۶ ، انتخاب بهینه ترکیب‌بندی و مقایسه آن با ملات مشابه وارداتی (خصوصیات فنی و اقتصادی).
- نتیجه‌گیری و ارائه گزارش نهایی.

۲-۳ مواد و مصالح مصرفی و مشخصات آن‌ها برای اجرای پروژه

در اجرای پروژه به‌منظور ساخت نوعی ملات اندودکاری سبک و عایق، مواد و مصالح موردنظر برپایه مواد چسباننده، پرکننده و افزودنی‌های مناسب به شرح زیر انتخاب‌شدند:

۲-۳-۱ مواد چسباننده

به‌عنوان ماده چسباننده اصلی از سیمان سفید استفاده شد. کیفیت این سیمان براساس استاندارد ملی ایران شماره ۲۹۳۱ مورد بررسی قرار گرفت[۸]. نتایج به‌دست آمده در جدول‌های ۲-۱ و ۲-۲ مشاهده می‌شود.

جدول ۲-۱- نتایج آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی سیمان پرتلند سفید مورد استفاده در پروژه

خواص فیزیکی		نتایج آزمون	ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی براساس ملی ایران شماره ۲۹۳۱			
			انواع سیمان پرتلند سفید براساس رده مقاومتی[۱]			سیمان سفید بنایی
			CEMW-۵۲/۵	CEMW-۴۲/۵	CEMW-۳۲/۵	WM-۲۲/۵
سطح مخصوص(بلین) حداقل - Cm^2/gr		۳۴۹۰	۳۲۰۰	۳۲۰۰	۳۲۰۰	۳۰۰۰
انبساط به روش اتوکلاو حداکثر - درصد		۰/۰۴	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۱/۰۰
زمان گیرش به وسیله سوزن ویکات	اولیه حداقل - دقیقه	۱۵۰	۴۵	۴۵	۴۵	۷۵
	نهایی حداکثر- ساعت	۳ ساعت و ۲۵ دقیقه	۶	۶	۶	-
مقاومت فشاری حداقل - N/mm^2	۲ روز	۱۴۹	۲۰	۱۰	-	-
	۳ روز	۱۸۱	-	-	۱۲	-
	۷ روز	۲۵۰	-	-	۲۰	۱۰
	۲۸ روز	۳۷۸	۵۲/۵	۴۲/۵	۳۲/۵	۲۲/۵
درجه سفیدی (برمبنای L^*) حداقل		۸۶/۷	رده درجه سفیدی انواع سیمان سفید			
			معمولی (NW)		ویژه (SW)	
			میانگین	منفرد	میانگین	منفرد
			۸۶	۸۵	۹۲	۹۱/۵

۱- مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۷۵۱۸، سیمان‌های پرتلند سفید فقط دارای رده مقاومت اولیه N است.

جدول ۲-۲ نتایج آزمون‌های شیمیایی سیمان پرتلند سفید مورد استفاده در پروژه

خواص شیمیایی	نتایج آزمون	ویژگی‌های شیمیایی براساس ملی ایران شماره ۲۹۳۱			
		انواع سیمان پرتلند سفید براساس رده مقاومتی			سیمان سفید بنایی
		CEMW-۵۲/۵	CEMW-۴۲/۵	CEMW-۳۲/۵	WM-۲۲/۵
افت سرخ شدن در ۱۰۰۰ درجه‌سلسیوس حداکثر – درصد	٤/۲۸	۳/۰	۳/۰	٤/۰	–
اکسید سیلیسیم (SiO_2)	۲٤/۲٦	–	–	–	–
اکسیدآلومینیم (Al_2O_3)	٤/۸۸	–	–	–	–
اکسید آهن (Fe_2O_3)	۰/٤٦	–	–	–	–
اکسید کلسیم (CaO)	٦۱/٤۰	–	–	–	–
اکسید منیزیم (MgO) حداکثر – درصد	۲/۰۱	۵/۰۰	۵/۰۰	۵/۰۰	–
باقی‌مانده نامحلول حداکثر – درصد	۱/۰۹	۱/۵	۱/۵	۱/۵	–
سولفات (SO_3) حداکثر – درصد $C_3A \geq 8$ $C_3A \leq 8$	۱/۸۱	۳/۵۰ ۳/۰۰	۳/۵۰ ۳/۰۰	۳/۵۰ ۳/۰۰	۳/۵
کلرید* حداکثر – درصد	–	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱

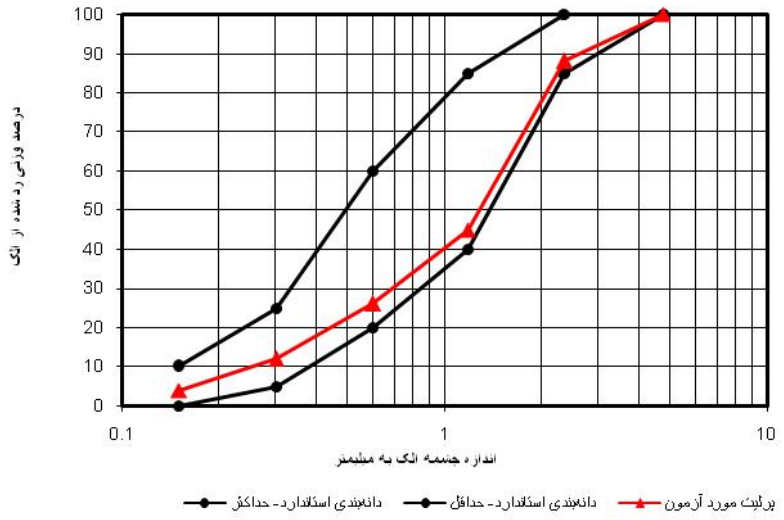
* – در شرایط محیطی خورنده در بتن مسلح حاوی سیمان پرتلند سفید، میزان کلرید آن باید حداکثر ۰٫۰۵ درصد باشد.

۲-۳-۲ سنگدانه

دراجرای پروژه از پرلیت منبسط به‌عنوان سنگدانه استفاده شد. ویژگی‌های این پرلیت براساس استاندارد ASTM C-332 مورد بررسی و چگالی انبوهی و دانه‌بندی آن مورد آزمون قرار گرفت[۹]. نتایج به‌دست آمده در جدول‌های ۲-۳ و ۲-٤ ارائه شده است. همچنین در شکل ۲-۱ منحنی دانه‌بندی پرلیت مورد استفاده در اجرای پروژه مشاهده می‌شود.

جدول ۲-۳ نتایج اندازه‌گیری دانه‌بندی پرلیت منبسط مورد استفاده در اجرای پروژه

اندازه الک (میکرون)	الزامات مقدار رد شده (درصد) براساس استاندارد ASTM C-332	نتایج آزمون (درصد رد شده)
٤٧٥٠	۱۰۰	۱۰۰
۲۳٦۰	۸۵ تا ۱۰۰	۸۸
۱۱۸۰	٤۰ تا ۸۵	٤۵
٦۰۰	۲۰ تا ٦۰	۲٦
۳۰۰	۵ تا ۲۵	۱۲
۱۵۰	صفر تا ۱۰	٤



شکل ۲-۱ منحنی دانه‌بندی پرلیت مورد استفاده در اجرای پروژه

جدول ۲-٤ نتایج تعیین چگالی پرلیت منبسط مورد استفاده در اجرای پروژه

نوع نمونه	الزامات چگالی (kg/m^3) براساس استاندارد ASTM C-332	نتایج آزمون (kg/m^3)
پرلیت منبسط	۱۲۰ تا ۱۹٦	۱۹۲

۲-۳-۳ مواد افزودنی

از یک نوع پوزولان و یک نوع خاک رس به‌عنوان مواد افزودنی استفاده شد. نقش پوزولان و خاک رس در زمینه بهبوددهنده کارایی، کمک کننده به اختلاط و به پرداخت ملات است[۱۰]. خواص هر دو ماده براساس استانداردهای مربوط مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به‌دست آمده در جدول‌های ۲-۵ تا ۲-۸ ارائه شده است. همچنین در شکل ۲-۲ منحنی آنالیز حرارتی نمونه پوزولان با استفاده از دستگاه STA مشاهده می‌شود.

جدول ۲-۵ نتایج آزمون‌های شیمیایی خاک رس مورد استفاده در پروژه

ترکیبات متشکل	نتایج آزمون (درصد)
کاهش وزن بر اثر سرخ شدن .L.O.I (Loss On Ignition)	۵/۳۲
اکسید سیلیسیم و باقی‌مانده نامحلول (SiO_2)	۷۰/۰٦
اکسید آهن (Fe_2O_3)	۳/۰٤
اکسید آلومینیم (Al_2O_3)	۱٤/۳۲
اکسید کلسیم (CaO)	۱/٦۸
اکسید منیزیم (MgO)	۲/٤۰
سولفات (SO_3)	۰/۰۰

جدول ۲-٦ نتایج آزمون‌های شیمیایی پوزولان مورد استفاده در پروژه

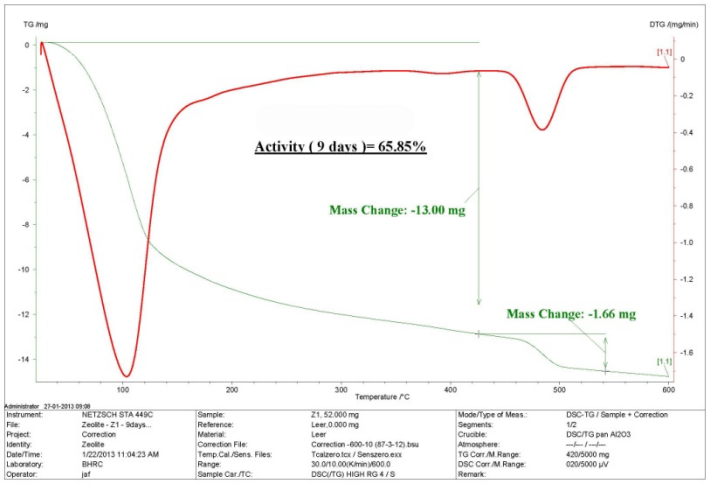
آزمون‌های شیمیایی	ویژگی‌های پوزولان براساس استاندارد ملی ایران شماره ۳٤۳۳	نتایج آزمون
$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ (درصد)	حداقل ۷۰/۰	۸۱/۹۳
SO_3 (درصد)	حداکثر ٤/۰	۰/۰۰
درصدرطوبت در دمای 110^oC	حداکثر ۳/۰	۲/۸۳
درصد کاهش وزن بر اثر سرخ شدن	حداکثر ۱۰/۰	۹/۳۳
درصد قلیایی‌های دردسترس (معادل قلیایی) ($Na_2O+0.658\ K_2O$)	-	۱/۰٥

جدول ۲-۷ نتایج آزمون‌های فیزیکی پوزولان مورد استفاده در پروژه

آزمون‌های فیزیکی	ویژگی‌های پوزولان براساس استاندارد ملی ایران شماره ۳٤۳۳	نتایج آزمون
درصد اندیس‌هیدرولیکی	حداقل	
(۷ روزه)	۷٥	۱۰۷
(۲۸ روزه)	۷٥	۱٥٤
درصد مانده روی الک ٤٥ میکرون	حداکثر ۳٤	٥/۱
درصد انبساط یا انقباض (آزمایش اتوکلاو)	حداکثر ۰/۸	۰/۱۱

جدول ۲-۸ فعالیت پوزولانی نمونه پوزولان با استفاده از دستگاه STA

نوع نمونه	فعالیت پوزولانی - درصد
پوزولان	٦٥/۸٥



شکل ۲-۲ منحنی آنالیز حرارتی نمونه پوزولان با استفاده از دستگاه STA .

۲-۳-۴ مواد افزونه

برای ساخت این نوع اندود، سه نوع افزونه به‌منظور بالابردن خواص ملات انـدودکاری مانند کاهش ترک‌خوردگی، بهبود پیوسـتگی و انعطـاف‌پـذیری بهتـر وافـزایش دوام در طول بهره‌برداری مورد استفاده قرار گرفته است[۱۰].

۲-۴ بررسی‌های آزمایشگاهی

۲-۴-۱ ساخت آزمونه‌های ملات اندودکاری

به‌منظور ساخت ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی فعالیت‌هایی به‌شرح زیر انجام شد:

- بررسی در زمینه ترکیب‌بندی‌های مختلف برای ساخت ملات انـدودکاری و انتخـاب ۱۲ ترکیب‌بندی مناسب در مرحله اول و سپس در مرحله دوم سه ترکیـب‌بنـدی دیگـر با توجه به نتایج به‌دست آمده از ۱۲ ترکیب‌بندی مرحله اول.

در جدول ۲-۹ ترکیب‌بندی ۱۲ آزمونه ارائه شده است.

جدول ۲-۹ اجزای تشکیل دهنده مخلوط‌های مختلف

شماره مخلوط	اجزای تشکیل‌دهنده مخلوط‌های مختلف - درصد						
	سیمان	پرلیت منبسط	افزودنی ۱	افزودنی ۲	افزونه ۱	افزونه ۲	افزونه ۳
۱	٦٨/٥	٥	١٥	٥	٠/٥	٥	١
٢	٥٢/٢٥	٧/٥	٢٠	١٠	٠/٧٥	٧/٥	٢
٣	٣٦	١٠	٢٥	١٥	١	١٠	٣
٤	٥٦	٧/٥	٢٠	١٠	٠/٥	٥	١
٥	٤٣/٥	١٠	٢٥	١٥	٠/٥	٥	١
٦	٦٤/٧٥	٥	١٥	٥	٠/٧٥	٧/٥	٢
٧	٣٩/٧٥	١٠	٢٥	١٥	٠/٧٥	٧/٥	٢
٨	٦١	٥	١٥	٥	١	١٠	٣
٩	٤٨/٥	٧/٥	٢٠	١٠	١	١٠	٣
١٠	٥٦	١٥	١٥	٥	١	٥	٣
١١	٥٦/٥	١٣	١٥	٥	١	٧/٥	٢
١٢	٥٦	١٢	١٥	٥	١	١٠	١

- ساخت تعداد ۷۲ آزمونه به ابعاد (٤ × ٤ × ١٦) سانتی‌متر با ۱۲ ترکیب‌بندی مختلف در مرحله اول، به‌منظور بررسی مقاومت فشاری، چگالی و ضریب‌جذب آب موئینه ملات اندودکاری.
- ساخت ۳٦ آزمونه استوانه‌ای شکل با قطر ۱۰ سانتی‌متر و ضخامت ۱۰ میلی‌متر با ۱۲ ترکیب‌بندی مختلف در مرحله اول، برای آزمون تعیین نفوذپذیری بخار آب.
- ساخت ۲٤ آزمونه مناسب با ۱۲ ترکیب‌بندی مختلف در مرحله اول، برای آزمون اندازه‌گیری میزان چسبندگی ملات اندودکاری به مصالح پشت‌کار.
- عمل‌آوری آزمونه‌های ساخته شده به مدت ٤٨ ساعت در شرایط دما – رطوبتی استاندارد (دمای ۲۳درجه‌سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰ درصد).

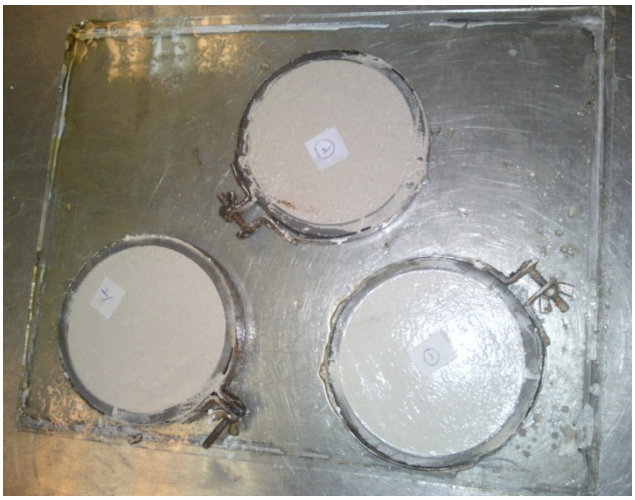
- خارج کردن آزمونه‌ها از قالب و عمل‌آوری آن‌ها در شرایط دما - رطوبتی مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱۱-۹۱۵۰. در جدول ۲-۱۰ آماده‌سازی و شرایط نگه‌داری آزمونه‌های ملات اندودکاری ارائه شده است [۱۱].

جدول ۲-۱۰ آماده‌سازی و شرایط نگه‌داری آزمونه‌های ملات اندودکاری

نوع ملات	زمان نگه‌داری در دمای ۲ ± ۲۰ درجه‌سلسیوس (روز)		
	رطوبت نسبی		
	۵ ± ۹۵ درصد یا در کیسه از جنس‌پلی‌اتیلن		۵ ± ٦٥ درصد
	در قالب	پس از خروج از قالب	پس از خروج از قالب
آزمونه‌های ملات اندودکاری	۲	۵	۲۱

در شکل‌های ۲-۳ تا ۲-۵ آزمونه‌های ساخته شده برای انجام آزمون‌های مقاومت فشاری، چگالی، ضریب جذب آب موئینه، نفوذپذیری بخارآب و مقاومت چسبندگی نشان داده شده است.

شکل۲-۳ آزمونه‌های ساخته شده برای آزمون‌های اندازه‌گیری مقاومت فشاری، چگالی و ضریب جذب آب موئینه



شکل۲-٤- آزمونه‌های ساخته شده برای آزمون اندازه‌گیری نفوذپذیری بخار آب

شکل۲-٥- آزمونه ساخته شده برای آزمون اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی

۲-٤-۲ اندازه‌گیری مقاومت فشاری آزمونه‌های ملات اندودکاری

مقاومت فشاری آزمونه‌های ساخته و عمل آوری شده در شرایط استاندارد اندازه‌گیری شد[۲۱]. در جدول ۲-۱۱ نتایج مقاومت فشاری آزمونه‌های ملات اندودکاری با ۱۲ ترکیب‌بندی ارائه شده است.

جدول ۲-۱۱ نتایج مقاومت فشاری آزمونه‌های ملات اندودکاری با ۱۲ ترکیب‌بندی

مشخصه آزمونه‌های ملات اندودکاری	الزامات رده مقاومت فشاری براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۰٦	مقاومت فشاری (N/mm^2)
ترکیب‌بندی ۱	ملات اندودکاری سبک : CS I تا CS III ملات اندودکاری عایق : CS I و CS II CS I : (۰٫٤ تا ۲٫۵) N/mm^2 CS II : (۱٫۵ تا ۵٫۰) N/mm^2 CS III : (۳٫۵ تا ۷٫۵) N/mm^2	۲۷/٤
ترکیب‌بندی ۲		۱۹/۰
ترکیب‌بندی ۳		۱۲/۲
ترکیب‌بندی ٤		۱۹/۱
ترکیب‌بندی ۵		۱٦/۱
ترکیب‌بندی ٦		۲۱/۵
ترکیب‌بندی ۷		۱۲/۸
ترکیب‌بندی ۸		۱۸/۹
ترکیب‌بندی ۹		۱۵/۷
ترکیب‌بندی ۱۰		۲۰/۵
ترکیب‌بندی ۱۱		۱۷/۲
ترکیب‌بندی ۱۲		۱۵/۰

۲-٤-۲-۱ ارزیابی نتایج اندازه‌گیری مقاومت فشاری

نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری مقاومت فشاری آزمونه‌های ملات اندودکاری با ۱۲ ترکیب‌بندی مختلف نشان می‌دهد که:

- کلیه آزمونه‌های ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی در رده CSIII استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۰٦ قرار دارد.

۲-٤-۳ اندازه‌گیری چگالی آزمونه‌های ملات اندودکاری

چگالی آزمونه‌های ساخته و عمل آوری شده در شرایط استاندارد اندازه‌گیری شد[۱۹]. در جدول ۲-۱۲ نتایج چگالی آزمونه‌های ملات اندودکاری با ۱۲ ترکیب‌بندی ارائه شده است.

جدول ۲-۱۲ نتایج چگالی آزمونه‌های ملات اندودکاری با ۱۲ ترکیب‌بندی

مشخصه آزمونه‌های ملات اندودکاری	الزامات چگالی براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۷۰٦	چگالی (kg/m^3)
ترکیب‌بندی ۱	ملات اندودکاری سبک : مساوی وکمتراز ۱۳۰۰ kg/m^3	۱٤٥۷
ترکیب‌بندی ۲		۱۳٦٦
ترکیب‌بندی ۳		۱۱۳۰
ترکیب‌بندی ٤		۱۳٥۱
ترکیب‌بندی ٥		۱۲۳٦
ترکیب‌بندی ٦		۱٤۰۰/٥
ترکیب‌بندی ۷		۱۲۰۷
ترکیب‌بندی ۸		۱۳۹۳
ترکیب‌بندی ۹		۱۳۰۰
ترکیب‌بندی ۱۰		۱۲۹۳
ترکیب‌بندی ۱۱		۱۲٥٦
ترکیب‌بندی ۱۲		۱۱۹۳/٥

۲-٤-۳-۱ ارزیابی نتایج اندازه‌گیری چگالی

نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری چگالی آزمونه‌های ملات اندودکاری با ۱۲ ترکیب‌بندی مختلف نشان می‌دهد که:

- چگالی ۷ ترکیب‌بندی از ۱۲ ترکیب‌بندی برای ساخت ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی، مطابق با ویژگی ارائه شده در استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۷۰٦، است.

۲-٤-٤ اندازه‌گیری ضریب جذب آب موئینه آزمونه‌های ملات اندودکاری

تعیین ضریب جذب‌آب موئینه برای ملات‌های اندودکاری که در اجزای بیرونی استفاده می‌شوند و به طور مستقیم در معرض عوامل جوی قرار دارند، الزامی است.

ضریب جذب آب موئینه با استفاده از آزمونه‌های منشوری شکل ملات، تحت شرایط

از پیش تعیین شده در فشار اتمسفر اندازه‌گیری می‌شود. پس از خشک شدن آزمونه‌ها تا جرم ثابت، یک سطح آنها در ۵ تا ۱۰ میلی‌متر آب برای مدت زمان معینی فرو برده شده و افزایش جرم آنها تعیین می‌شود [۲۰].

میزان ضریب جذب آب موئینه آزمونه‌های ساخته و عمل آوری شده در شرایط استاندارد اندازه‌گیری شد. در جدول ۲-۱۳ نتایج ضریب جذب آب موئینه آزمونه‌های ملات اندودکاری با ۱۲ ترکیب‌بندی ارائه شده است.

جدول ۲-۱۳ نتایج ضریب جذب آب موئینه آزمونه‌های ملات اندودکاری با ۱۲ ترکیب‌بندی

مشخصه آزمونه‌های ملات اندودکاری	الزامات ضریب جذب آب موئینه براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۷۰۶	ضریب جذب آب موئینه ($kg/m^2 .min^{0.5}$)
ترکیب‌بندی ۱	برای‌ملات‌های مورد مصرف در اجزای بیرونی ساختمان ملات اندودکاری سبک : W 0 تا W 2 ملات اندودکاری عایق : W1 الزامی ندارد : W 0 $W\ 1 : C \leq ۰٫۴۰\ kg/m^2 .min^{0.5}$ $W2 : C \leq ۰٫۲۰\ kg/m^2 .min^{0.5}$	۰/۱۲
ترکیب‌بندی ۲		۰/۲۴
ترکیب‌بندی ۳		۰/۴۰
ترکیب‌بندی ۴		۰/۳۰
ترکیب‌بندی ۵		۰/۵۷
ترکیب‌بندی ۶		۰/۲۱
ترکیب‌بندی ۷		۰/۴۲
ترکیب‌بندی ۸		۰/۱۱
ترکیب‌بندی ۹		۰/۱۷
ترکیب‌بندی ۱۰		۰/۱۱
ترکیب‌بندی ۱۱		۰/۱۵
ترکیب‌بندی ۱۲		۰/۱۹

۲-۴-۴-۱ ارزیابی نتایج اندازه‌گیری ضریب جذب آب موئینه

نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری ضریب جذب آب موئینه آزمونه‌های ملات اندودکاری با ۱۲ ترکیب‌بندی مختلف نشان می‌دهد که:

– ضریب جذب آب موئینه ملات اندودکاری با مشخصه‌های ۵ و ۷ در رده W0 قرار دارد.

– ضریب جذب آب موئینه ملات اندودکاری با مشخصه‌های ۲، ۳، ٤ و ٦ در رده W1 قرار دارد.

– ضریب جذب آب موئینه ملات اندودکاری با مشخصه‌های ۱، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و۱۲ در رده W2 قرار دارد.

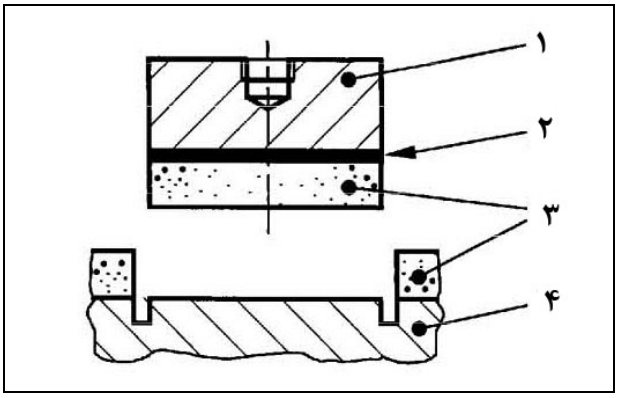
به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد که همه ملات‌های اندودکاری به غیر از ملات با مشخصه‌های ۵ و ۷ قابلیت کاربرد در اجزای بیرونی ساختمان را دارد.

۲-٤-۵ اندازه‌گیری چسبندگی آزمونه‌های ملات اندودکاری

برای ملات‌های اندودکاری، مقاومت چسبندگی بر اساس حداکثر تنش کششی، به روش اعمال بار مستقیم که به صورت عمود بر سطح ملات‌های اندودکاری بیرونی یا داخلی روی یک مصالح پشت‌کار است، اندازه‌گیری می‌شود. بار کششی از طریق کشش یک صفحه ویژه که به‌سطح ملات آزمونه چسبیده است، اعمال و مقاومت چسبندگی با توجه به بار شکست به‌دست آمده و مساحت آزمونه تعیین می‌شود[۱۵].

مقاومت چسبندگی ملات‌های اندودکاری بیرونی و داخلی به پشت‌کار، براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱۲-۹۱۵۰، اندازه‌گیری می‌شود.

الگوهای احتمالی گسیختگی که منجر به نتایج صحیح می‌شود، در شکل‌های ۲-٦ تا ۲-۸ ارائه شده است. زمانی که الگوی گسیختگی مطابق شکل‌های ۲-۷ و ۲-۸ رخ دهد، یعنی هیچ‌گونه گسیختگی درحد فاصل ملات / پشت‌کار نیست، نتایج به عنوان مقادیر حد پائین‌تر در نظر گرفته می‌شود.

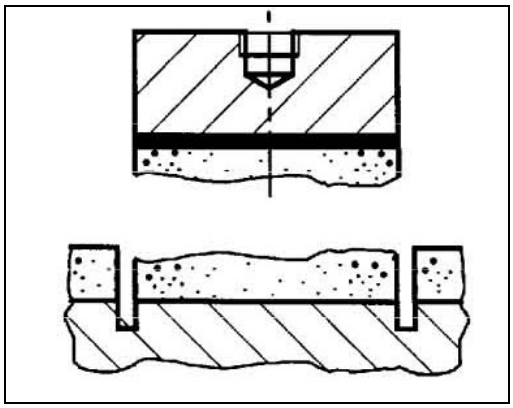


۱- صفحه ۳- ملات

۲ - لایه چسب ٤- مصالح پشت‌کار

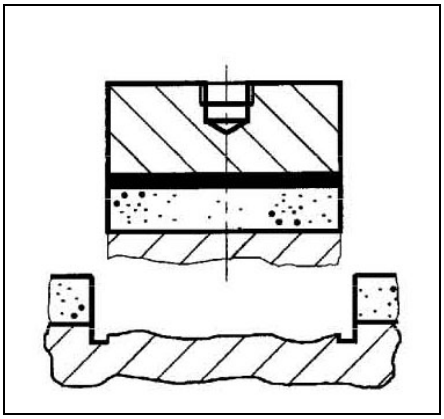
شکل ۲-٦ الگوی گسیختگی الف

(گسیختگی چسبندگی – گسیختگی در حد فاصل بین ملات و مصالح پشت‌کار، مقدار به دست آمده از آزمون، برابر مقاومت چسبندگی است.)



شکل ۲-۷ الگوی گسیختگی ب

(گسیختگی پیوستگی – گسیختگی در ملات به تنهائی ، مقاومت چسبندگی بیشتر از مقدار به دست آمده از آزمون است.)



شکل ۲-۸ الگوی گسیختگی پ

(گسیختگی پیوستگی – گسیختگی در مصالح پشت‌کار، مقاومت چسبندگی بیشتر از مقدار به دست آمده از آزمون است.)

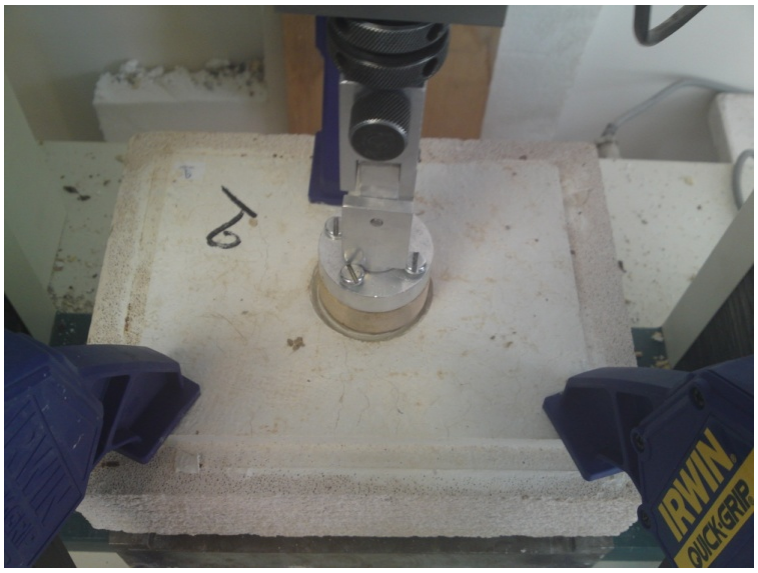
جدول ۲-۱٤ نتایج مقاومت چسبندگی آزمونه‌های ملات اندودکاری با ۱۲ ترکیب‌بندی

مشخصه آزمونه‌های ملات اندودکاری	الزامات چسبندگی براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۷۰٦	چسبندگی (N/mm^2)	الگوی گسیختگی
ترکیب‌بندی ۱	ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی: مساوی و بیشتر از مقدار اظهار شده الگوی گسیختگی: الف، ب و پ	۰/۰۸	پ
ترکیب‌بندی ۲		۰/۲۷	ب
ترکیب‌بندی ۳		۰/۱۳	پ
ترکیب‌بندی ٤		۰/۱۵	پ
ترکیب‌بندی ۵		۰/۱٤	پ
ترکیب‌بندی ٦		۰/۲۲	پ
ترکیب‌بندی ۷		۰/۲٦	ب
ترکیب‌بندی ۸		۰/۰۹	پ
ترکیب‌بندی ۹		۰/۱۱	پ
ترکیب‌بندی ۱۰		۰/٦۳	ب
ترکیب‌بندی ۱۱		۰/۲۲	پ
ترکیب‌بندی ۱۲		۰/۱۳	پ

میزان چسبندگی آزمونه‌های ساخته و عمل آوری شده در شرایط استاندارد اندازه‌گیری شد. در جدول ۲-۱٤ نتایج آزمون چسبندگی آزمونه‌های ملات اندودکاری با ۱۲ ترکیب‌بندی ارائه شده است. همچنین به صورت نمونه‌ای آماده‌سازی آزمونه‌های ملات اندودکاری با مشخصه ۷ و ۹ برای آزمون چسبندگی و دو نوع گسیختگی ایجاد شده در این دو نمونه ملات که براساس الگوی گسیختگی "ب" و "پ" بوده است، در شکل‌های ۲-۹ تا ۲-۱۲، مشاهده می‌شود.

شکل ۲-۹ آماده‌سازی آزمونه ملات اندودکاری با مشخصه ۷ برای انجام آزمون چسبندگی

شکل ۲- ۱۰ گسیختگی ایجادشده در آزمونه ملات اندودکاری با مشخصه ۷ (مطابق با الگوی گسیختگی ب)



شکل ۲-۱۱ آماده‌سازی آزمونه ملات اندودکاری با مشخصه ۹ برای انجام آزمون چسبندگی

شکل ۲- ۱۲- گسیختگی ایجادشده در آزمونه ملات اندودکاری با مشخصه ۹ (مطابق با الگوی گسیختگی پ)

۲-٤-۵-۱ ارزیابی نتایج اندازه‌گیری چسبندگی

نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی آزمونه‌های ملات اندودکاری با ۱۲ ترکیب‌بندی مختلف نشان می‌دهد که گسیختگی همه ملات‌های اندودکاری ساخته شده مطابق با الگوی استاندارد است.

۲-٤-٦ اندازه‌گیری میزان نفوذپذیری بخار آب آزمونه‌های ملات اندودکاری

پوشش‌های بنایی بیرونی، نقش بسیار مهمی در تنظیم تبادل بخارآب بین مصالح پشت‌کار و هوا دارند. این خاصیت با استفاده از ظرف دارای محلول اشباع پتاسیم نیترات (به منظور ایجاد رطوبت نسبی ۹۳ درصد) و بسته شدن دهانه ظرف با لایه‌ای از فرآورده یا مصالح پشت‌کار پوشش داده شده با فرآورده مورد آزمون، ارزیابی می‌شود. ظرف در یک محفظه با دما و رطوبت نسبی کنترل شده، قرار داده می‌شود. در فواصل زمانی مناسب، ظرف آزمون توزین و میزان نفوذپذیری بخارآب براساس تغییر در جرم که نسبت مستقیم با فواصل زمانی دارد، تعیین می‌شود [١٦] و[١٧].

میزان نفوذپذیری بخارآب (برای پوشش‌ها) عبارت است از جرم بخارآب که در یک مدت زمان مشخص از میان سطح معینی از هر طرف آزمونه تحت شرایط ثابت رطوبت نسبی عبور می‌کند.

میزان نفوذپذیری بخارآب، برحسب گرم بر مترمربع بر روز [$g/(m^2.d)$] در شرایط رطوبت‌نسبی مشخص در دو طرف پوشش بیان می‌شود.

نفوذپذیری بخار آب آزمونه‌های ساخته و عمل آوری شده در شرایط استاندارد اندازه‌گیری شد. در شکل‌های ۲-۱۳ و ۲-١٤ آزمونه‌های مربوط به آزمون نفوذپذیری بخار آب و گرمخانه مناسب برای نگه‌داری آزمونه مشاهده می‌شود. همچنین در جدول ۲-۱۵ نتایج نفوذپذیری بخار آب آزمونه‌های ملات اندودکاری با۱۲ ترکیب‌بندی ارائه شده است.

جدول ۲-۱۵ نتایج میزان نفوذپذیری بخار آب آزمونه‌های ملات اندودکاری با ۱۲ ترکیب‌بندی

مشخصه آزمونه‌های ملات اندودکاری	الزامات ضریب نفوذپذیری بخار آب براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۷۰۶	ضریب نفوذپذیری بخار آب (μ)
ترکیب‌بندی ۱	ملات اندودکاری عایق‌حرارتی: مساوی وکمتراز ۱۵ (برای‌ملات‌های موردمصرف در اجزای بیرونی ساختمان)	۰/۵۴۳
ترکیب‌بندی ۲		۰/۵۶۴
ترکیب‌بندی ۳		۰/۵۹۱
ترکیب‌بندی ٤		۰/۵۷۱
ترکیب‌بندی ۵		۰/۵۶۷
ترکیب‌بندی ٦		۰/۵۷۰
ترکیب‌بندی ۷		۰/۵۷٦
ترکیب‌بندی ۸		۰/۵۸۳
ترکیب‌بندی ۹		۰/۵۸۵
ترکیب‌بندی ۱۰		۰/۵۷٦
ترکیب‌بندی ۱۱		۰/۵۷۲
ترکیب‌بندی ۱۲		۰/۵۸٦

شکل ۲-۱۳ ظرف‌های آزمون نفوذپذیری بخارآب به همراه آزمونه‌ها

شکل ۲-۱٤ گرمخانه برای نگه‌داری دمای محیط آزمون در ۲۳ درجه‌سلسیوس

۲-٤-٦-۱ ارزیابی نتایج اندازه‌گیری ضریب نفوذپذیری بخار آب

نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری ضریب نفوذپذیری بخار آب آزمونه‌های ملات اندودکاری با ۱۲ ترکیب‌بندی مختلف نشان می‌دهد که ضریب نفوذپذیری بخارآب هر ۱۲ ترکیب‌بندی برای ساخت ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی، مطابق با ویژگی ارائه شده در استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۷۰٦، است.

۲-٤-۷ ساخت آزمونه‌های تکمیلی ملات اندودکاری

براساس نتایج اندازه‌گیری مقاومت فشاری و چگالی ۱۲ ترکیب‌بندی مرحله اول اجرای پروژه، سه ترکیب‌بندی جدید نیز برای ساخت آزمونه‌های تکمیلی ملات اندودکاری در مرحله دوم انتخاب شد.

در جدول ۲-۱٦ اجزای تشکیل دهنده سه ترکیب‌بندی جدید ارائه شده است.

جدول ۲-۱۶ اجزای تشکیل دهنده سه ترکیب‌بندی جدید

شماره مخلوط	اجزای تشکیل‌دهنده سه ترکیب‌بندی جدید - درصد						
	سیمان	پرلیت منبسط	افزودنی ۱	افزودنی ۲	افزونه ۱	افزونه ۲	افزونه ۳
۱۳	٤٤	۱۲	۲۰	۱۰	۱	۱۰	۳
۱٤	٤۱	۱۵	۲۰	۱۰	۱	۱۰	۳
۱۵	٤۵	۱۰	۱٦	۱۵	۱	۱۰	۳

بر روی این سه ترکیب‌بندی جدید کلیه آزمون‌های مربوط به ملات انـدودکاری شـامل اندازه‌گیری مقاومت فشاری، چگالی، ضریب‌جذب موئینه، میزان چسـبندگی و ضـریب نفوذپذیری بخارآب انجام شد. نتایج به‌دست آمده در جدول‌های ۲- ۱۷ تا ۲-۲۱ ارائـه شده است.

جدول ۲-۱۷ نتایج مقاومت فشاری آزمونه‌های ملات اندودکاری با ۳ ترکیب‌بندی تکمیلی مرحله دوم

مشخصه آزمونه‌های ملات اندودکاری	الزامات رده مقاومت فشاری براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۰٦	مقاومت فشاری (N/mm^2)
ترکیب‌بندی ۱۳	ملات اندودکاری سبک : CS I تا CS III	۱٤/٤
ترکیب‌بندی ۱٤	ملات اندودکاری عایق : CS I و CS II	۱۱/۲
ترکیب‌بندی ۱۵	CS I : (۰٫٤ تا ۲٫۵) N/mm^2 CS II : (۱٫۵ تا ۵٫۰) N/mm^2 CS III : (۳٫۵ تا ۷٫۵) N/mm^2	۱۳/۱

جدول ۲-۱۸ نتایج چگالی آزمونه‌های ملات اندودکاری با ۳ ترکیب‌بندی تکمیلی مرحله دوم

مشخصه آزمونه‌های ملات اندودکاری	الزامات چگالی براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۷۰۶	چگالی (kg/m^3)
ترکیب‌بندی ۱۳	ملات اندودکاری سبک : مساوی وکمتراز ۱۳۰۰ kg/m^3	۱۱۳۷
ترکیب‌بندی ۱٤		۱۰۸۳
ترکیب‌بندی ۱۵		۱۱٤۸/۵

جدول ۲-۱۹ نتایج ضریب جذب آب موئینه آزمونه‌های ملات اندودکاری با ۳ ترکیب‌بندی تکمیلی مرحله دوم

مشخصه آزمونه‌های ملات اندودکاری	الزامات ضریب جذب آب موئینه براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۷۰۶	ضریب جذب آب موئینه ($kg/m^2 .min^{0.5}$)
ترکیب‌بندی ۱۳	برای‌ملات‌های مورد مصرف در اجزای بیرونی ساختمان ملات اندودکاری سبک : W 0 تا W 2 ملات اندودکاری عایق‌حرارتی : W1 الزامی ندارد : W 0 W 1 : $C \leq ۰٫٤۰$ $kg/m^2 .min^{0.5}$ W2 : $C \leq ۰٫۲۰$ $kg/m^2 .min^{0.5}$	۰/۳۲
ترکیب‌بندی ۱٤		۰/۲۹
ترکیب‌بندی ۱۵		۰/۲۲

جدول ۲-۲۰ نتایج چسبندگی آزمونه‌های ملات اندودکاری
با ۳ ترکیب‌بندی تکمیلی مرحله دوم

مشخصه آزمونه‌های ملات اندودکاری	الزامات چسبندگی براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۷۰۶	چسبندگی (N/mm^2)	الگوی گسیختگی
ترکیب‌بندی ۱۳	ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی: مساوی و بیشتر از مقدار اظهار شده الگوی گسیختگی: الف، ب و پ	۰/۰۵	پ
ترکیب‌بندی ۱٤		۰/۰٦	پ
ترکیب‌بندی ۱۵		۰/۱۱	پ

جدول ۲-۲۱ نتایج میزان نفوذپذیری بخار آب آزمونه‌های ملات اندودکاری
با ۳ ترکیب‌بندی تکمیلی مرحله دوم

مشخصه آزمونه‌های ملات اندودکاری	الزامات ضریب نفوذپذیری بخار آب براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۷۰٦	ضریب نفوذپذیری بخار آب (μ)
ترکیب‌بندی ۱۳	ملات اندودکاری عایق‌حرارتی: مساوی وکمتراز ۱۵ (برای‌ملات‌های موردمصرف در اجزای بیرونی ساختمان)	۰/۵٤٤
ترکیب‌بندی ۱٤		۰/۵۲۳
ترکیب‌بندی ۱۵		۰/۵۷۳

۲-٤-۷-۱ ارزیابی نتایج آزمونه‌های انجام شده بر روی سه ترکیب‌بندی تکمیلی

نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌های مقاومت فشاری، چگالی، ضریب‌جذب موئینه، میزان چسبندگی و ضریب نفوذپذیری بخارآب بر روی آزمونه‌های ملات اندودکاری با سه ترکیب‌بندی تکمیلی جدید نشان می‌دهد که:

- مقاومت فشاری هر سه ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی در رده CSIII قرار

دارد و مطابق با ویژگی‌های استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۷۰۶ است.

- چگالی هر سه ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی مطابق با ویژگی ارائه شده در استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۷۰۶، است.

- ضریب جذب آب موئینه هر سه ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی در رده W2 قرار دارد و کاربرد آن‌ها در اجزای بیرونی ساختمان مجاز است.

- مقاومت چسبندگی هر سه ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی مطابق با الگوی گسیختگی استاندارد (پ) است.

- ضریب نفوذپذیری بخار آب هر سه ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی، مطابق با ویژگی ارائه شده در استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۷۰۶، است.

۲-٤-۸ اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی آزمونه‌های ملات اندودکاری

ضریب هدایت حرارتی برای ملات‌های اندودکاری مورد استفاده در اجزایی که برای آن‌ها الزامات حرارتی وجود دارد، باید براساس روش لوح گرم محافظت شده مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۸٦۲۱ تعیین شود [۱۸].

براساس نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری چگالی آزمونه‌های ملات اندودکاری با ۱۵ ترکیب‌بندی دارای چگالی کمتر از ۱۳۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، ۱۰ ترکیب‌بندی (مشخصه‌های ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱٤، ۱۵) برای آزمون اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی انتخاب شد. در شکل ۲-۱۵ آزمونه‌های مربوط به آزمون ضریب هدایت حرارتی مشاهده می‌شود.

در جدول ۲-۲۲ نتایج اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی آزمونه‌های ملات اندودکاری با ۱۰ ترکیب‌بندی ارائه شده است.

شکل ۲-۱۵ آزمونه‌های ساخته شده برای اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی

جدول ۲-۲۲ نتایج ضریب هدایت حرارتی آزمونه‌های ملات اندودکاری با ۱۰ ترکیب‌بندی (براساس نتایج چگالی استاندارد)

مشخصه آزمونه‌های ملات اندودکاری	الزامات ضریب هدایت حرارتی براساس استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۷۰٦	ضریب هدایت حرارتی (W/m.K)
ترکیب‌بندی ۳	(برای ملات‌های مورد مصرف در اجزایی که در معرض الزامات حرارتی هستند) ملات اندودکاری عایق‌حرارتی: T1: ≤ ۰/۱۰ T2: ≤۰/۲۰	۰/۱٦
ترکیب‌بندی ۵		۰/۲۰
ترکیب‌بندی ۷		۰/۲۲
ترکیب‌بندی ۹		۰/۲۰
ترکیب‌بندی ۱۰		۰/۲٤
ترکیب‌بندی ۱۱		۰/۱۹
ترکیب‌بندی ۱۲		۰/۲۱
ترکیب‌بندی ۱۳		۰/۲۱
ترکیب‌بندی ۱٤		۰/۱۹
ترکیب‌بندی ۱۵		۰/۲۳

۲-٤-۸-۱ ارزیابی نتایج اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی

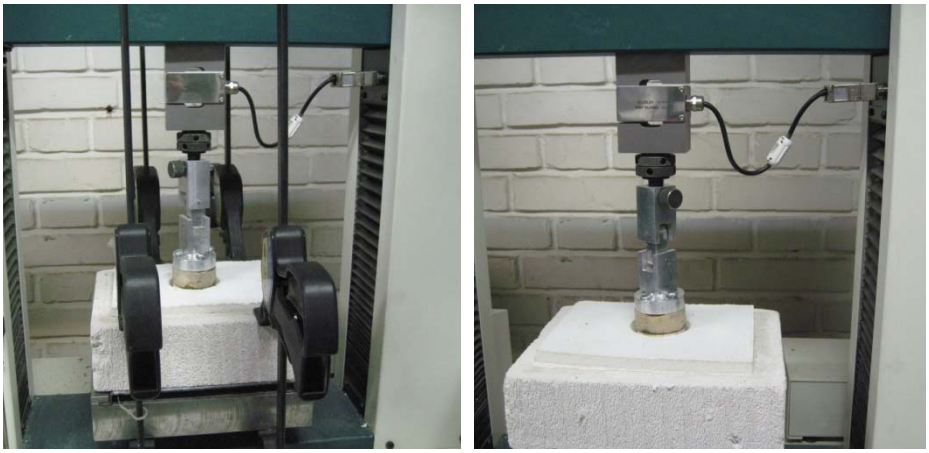
نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی آزمونه‌های ملات انـدودکاری

با ۱۰ ترکیب‌بندی انتخاب شده نشان می‌دهد که ضریب هدایت حرارتی آزمونه‌های با ترکیب‌بندی ۳، ۵، ۹ ، ۱۱ و ١٤ مطابق با ویژگی ارائه شده در استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۷۰٦ است و در رده T2، قرار دارد.

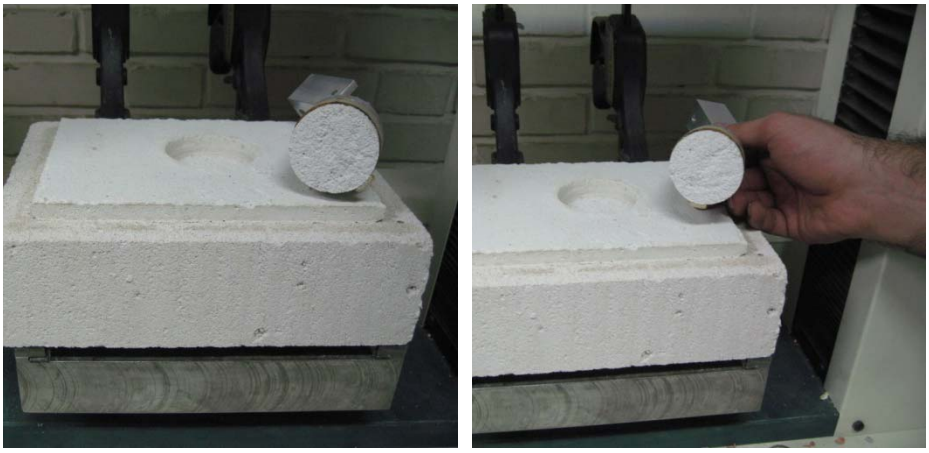
۲-۵ بررسی‌های آزمایشگاهی بر روی یک نوع ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی وارداتی

نتایج آزمون‌های انجام شده بر روی یک نمونه ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی وارداتی شامل اندازه‌گیری مقاومت فشاری، چگالی، ضریب‌جذب آب موئینه، میزان چسبندگی، ضریب نفوذپذیری بخارآب و ضریب هدایت حرارتی در جدول ۲-۲۳ ارائه شده است.

در شکل‌های ۲-١٦ و ۲-۱۷ آماده‌سازی آزمونه برای آزمون چسبندگی و گسیختگی ایجاد شده در اندود عایق‌حرارتی وارداتی، مشاهده می‌شود.



شکل ۲-١٦ آماده‌سازی آزمونه ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی وارداتی برای انجام آزمون چسبندگی



شکل ۲-۱۷ گسیختگی ایجاد شده در آزمونه ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی وارداتی پس از آزمون چسبندگی

جدول ۲-۲۳ نتایج آزمون‌های انجام شده بر روی ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی وارداتی

نوع آزمون	ویژگی‌ها مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۷۰۶				نتایج آزمون
مقاومت فشاری حداقل – N/mm^2	CS I	CS II	CS III	CS IV	۳/۷۳
	۰/٤ تا ۲/۵	۱/۵ تا ۵	۳/۵ تا ۷/۵	بزرگتر یا مساوی ٦	
چسبندگی حداقل – N/mm^2	≥ از مقدار اظهار شده و الگوی‌گسیختگی				۰/۰٤ مطابق الگوی گسیختگی ب
ضریب جذب آب موئینه حداقل- $[kg/(m^2min^{0.5})]$	W0	W1	W2		۰/۱۷
	تعیین نشده است	کوچکتر یا مساوی ۰/٤	کوچکتر یا مساوی ۰/۲		
ضریب نفوذپذیری بخارآب(μ)	≤ ۱۵				۰/۵۱
چگالی kg/m^3	در محدوده اظهار شده				٦۲٤/۵
هدایت حرارتی (W/m.K) (برای ملات‌های مورد مصرف در اجزایی که در معرض الزامات حرارتی هستند)	T 1 : ≤ ۰/۱۰ T 2 : ≤۰/۲۰				۰/۱٦

۲-۵-۱ ارزیابی نتایج آزمون‌های انجام شده بر روی یک نوع ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی وارداتی

نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری مقاومت فشاری، چگالی، ضریب‌جذب آب موئینه، میزان چسبندگی، ضریب نفوذپذیری بخارآب و ضریب هدایت حرارتی بر یک نوع ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی وارداتی نشان می‌دهد که:

- مقاومت فشاری این ملات در رده CSII، ضریب جذب آب مویینه آن در رده W1 و ضریب هدایت حرارتی در رده T2، قرار دارد.
- چگالی این نوع ملات اندودکاری وارداتی دردسته اندود سبک قرار دارد و کمتر از ۱۳۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و ضریب نفوذپذیری بخارآب آن مطابق با ویژگی‌های استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۰٦ است.
- مقاومت چسبندگی ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی وارداتی مطابق با الگوی گسیختگی ب – گسیختگی پیوستگی است.

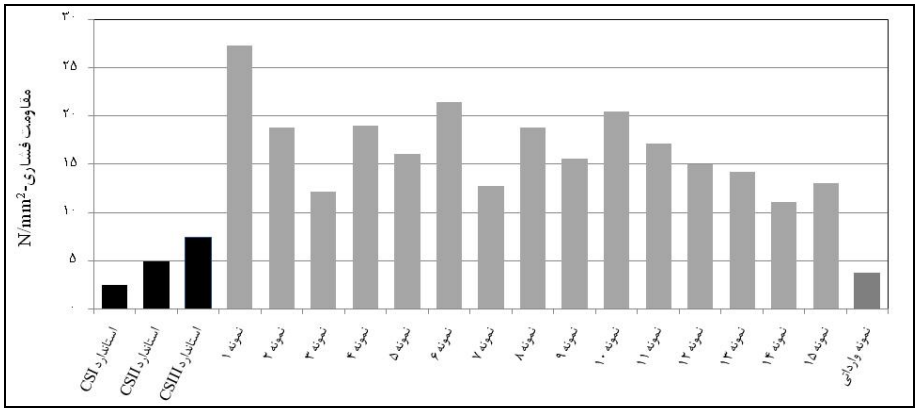
۲-٦ خواص ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی ساخته شده در پروژه و مقایسه آن با خواص ملات وارداتی

خواص ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی ساخته شده در پروژه با خواص ملات وارداتی مقایسه و در جدول ۲-۲٤ ارائه شده است.

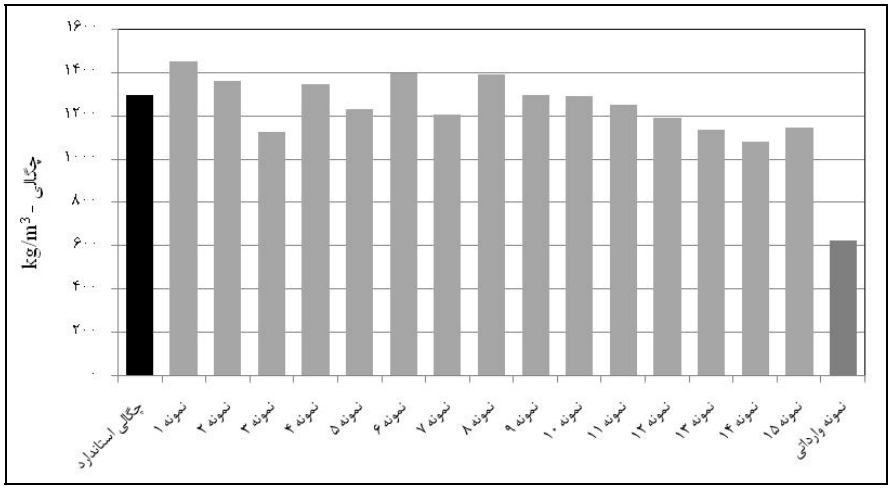
جدول ۲-۲٤- مقایسه نتایج آزمون‌های انجام شده بر روی ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی ساخته شده در پروژه با نمونه ملات وارداتی

نوع آزمون	ملات اندودکاری ساخته شده در پروژه (۱۵ ترکیب‌بندی)	ملات اندودکاری وارداتی	ارزیابی نتایج به دست آمده
مقاومت فشاری حداقل – N/mm^2	۱۱ تا ۲۷/٤	۳/۷۳	– حداقل مقاومت فشاری به‌دست آمده از پروژه از مقاومت فشاری ملات اندودکاری وارداتی بیشتر است.
چسبندگی حداقل – N/mm^2	۰/۰۵ تا ۰/۲۷ مطابق الگوی گسیختگی ب و پ	۰/۰٤ مطابق الگوی گسیختگی ب	– حداقل مقاومت چسبندگی به‌دست آمده از پروژه از مقاومت چسبندگی ملات اندودکاری وارداتی بیشتر است.
ضریب جذب آب موئینه حداقل– $[kg/(m^2min^{0.5})]$	۰/۱۱ تا ۰/۵۷	۰/۱۷	– نتایج هر دو گروه در محدوده استاندارد قرار دارد.
ضریب نفوذپذیری بخارآب (μ)	۰/۵۲۳ تا ۰/۵۹۱	۰/۵۱	– نتایج هر دو گروه در محدوده استاندارد قرار دارد.
چگالی kg/m^3	۱۰۸۳ تا ۱٤۵۷	٦۲٤/۵	– چگالی ملات اندودکاری وارداتی از کمترین چگالی به‌دست آمده در پروژه کمتر است.
هدایت حرارتی ($W/m.K$)	۰/۱٦	۰/۱٦	– هدایت حرارتی ملات اندودکاری وارداتی در رده T2 قرار دارد. – هدایت حرارتی به‌دست آمده ازملات اندودکاری ساخته شده در پروژه در رده T2 قرار دارد.

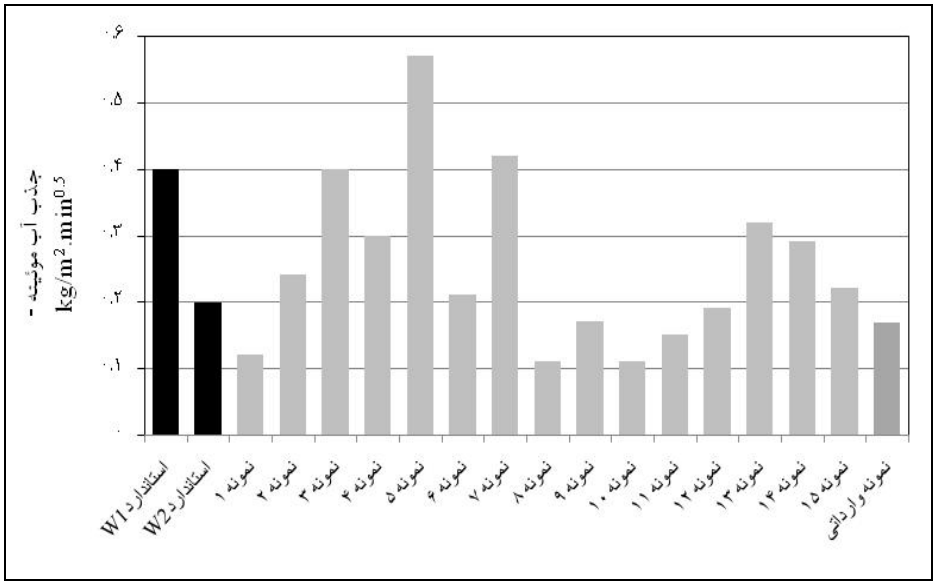
در شکل‌های ۲-۱۸ تا ۲- ۲۰ منحنی هیستوگرام مقاومت فشاری، چگالی و ضریب جذب آب موئینه هر ۱۵ ترکیب‌بندی ملات اندودکاری ومقایسه آن با ملات اندودکاری وارداتی مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۱۸ منحنی هیستوگرام مقاومت فشاری ملات اندودکاری با ۱۵ ترکیب‌بندی و مقایسه آن با ملات اندودکاری وارداتی



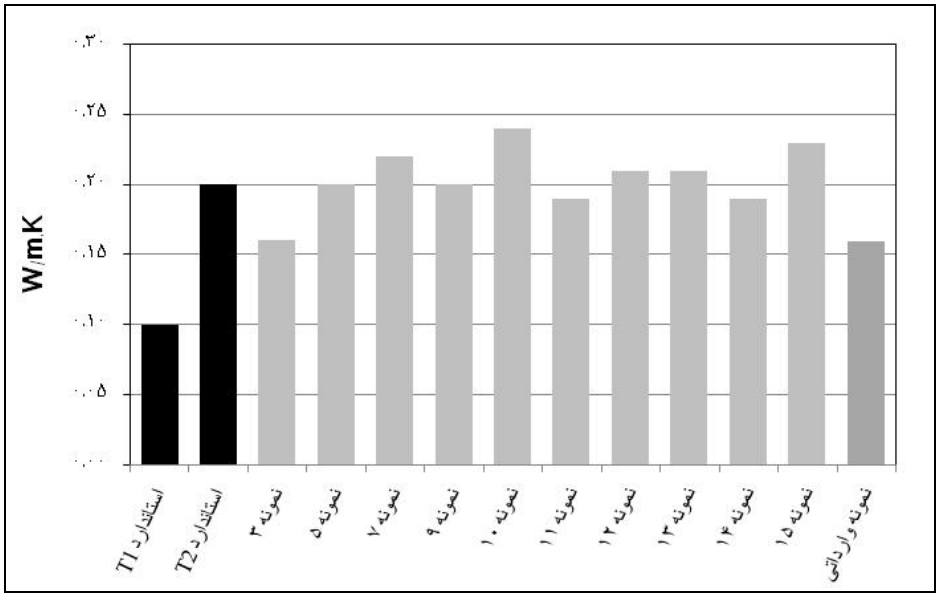
شکل ۲-۱۹ منحنی هیستوگرام چگالی ملات اندودکاری با ۱۵ ترکیب‌بندی و مقایسه آن با ملات اندودکاری وارداتی



شکل ۲-۲۰ منحنی هیستوگرام ضریب جذب آب موئینه ملات اندودکاری با ۱۵ ترکیب‌بندی و مقایسه آن با ملات اندودکاری وارداتی

۲-۶-۱ نتایج ضریب هدایت حرارتی ملات اندودکاری ساخته شده در پروژه و مقایسه آن با ضریب هدایت حرارتی ملات وارداتی

ضریب هدایت حرارتی ۱۰ ترکیب‌بندی از ۱۵ ترکیب‌بندی ملات اندودکاری ساخته شده در پروژه با ضریب‌هدایت حرارتی ملات وارداتی مقایسه شد. در شکل ۲-۲۱ منحنی هیستوگرام ضریب هدایت حرارتی ملات اندودکاری با ۱۰ ترکیب‌بندی و مقایسه آن با ملات اندودکاری وارداتی مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۲۱ منحنی هیستوگرام ضریب هدایت حرارتی ملات اندودکاری با ۱۰ ترکیب‌بندی و مقایسه آن با ملات اندودکاری وارداتی

فصل سوم

عملکرد سامانه دیوار اندود شده با ملات اندودکاری منتخب در پروژه

۳-۱ کلیات

همان‌طور که پیش از این بیان شد، یکی از مهمترین مواردی که باعث اتلاف انرژی حرارتی در ساختمان می‌شود، عایق‌بندی نشدن مناسب دیوارهای ساختمان است. به‌عبارت دیگرمی‌توان گفت بخش اعظمی از اعضای حائل بین داخل و خارج ساختمان که دیوارها را تشکیل می‌دهند، درصورت استفاده به‌جا و درست از مصالح مناسب می‌توان مقاومت حرارتی آن‌ها را تا حد چشمگیری افزایش داد و در نتیجه از اتلاف انرژی به‌مقدار زیادی جلوگیری به‌عمل آورد.

از آنجایی که در تحقیق حاضر، دستیابی به دانش ساخت نوعی ملات اندودکاری با تامین خواص سبکی و عایق حرارتی محقق شده است، بنابراین لازم است عملکرد این نوع ملات اندودکاری در سامانه دیوار مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا با شبیه‌سازی در آزمایشگاه انرژی از طریق ساخت دیوار نمونه‌ای و اجرای ملات

اندودکاری منتخب بر روی دیوار و اندازه‌گیری مقاومت حرارتی سامانه و مقایسه آن با دیوار بدون اجرای این نوع ملات اندودکاری، بررسی‌هایی به شرح زیر انجام شده است.

۳-۲ بررسی ضریب انتقال حرارتی سامانه دیوار اندود شده با ملات اندودکاری ساخته شده در پروژه (با بهینه ضریب هدایت حرارتی به‌دست آمده)

به‌منظور بررسی عملکرد ملات اندودکاری انتخاب شده در زمینه اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارتی سامانه دیوار اندود شده با ملات اندودکاری منتخب در زمینه عملکرد آن به‌عنوان یک نوع مصالح عایق، مراحل زیر انجام شد:

– ساخت یک نمونه دیوار روی یک قاب نگهدارنده به ابعاد ۳۰۰cm ×۳۰۰ cm با استفاده از بلوک‌های سفالی به‌ضخامت ۲۰ سانتی‌متر به‌گونه‌ای که سمت گرم دیوار با یک لایه ملات گچی به‌ضخامت حدود ۲ سانتی‌متر و سمت سرد آن با یک لایه ملات سیمانی به‌ضخامت ۲ سانتی‌متر پوشش داده شد.

– عمل‌آوری دیوار در شرایط استاندارد و سپس اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارتی آن.

– اجرای لایه‌ای از ملات اندودکاری انتخاب شده به‌ضخامت ۵ سانتی‌متر بر روی دیوار فوق‌الذکر، عمل‌آوری دوباره دیوار در شرایط استاندارد و سپس اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارتی آن.

۳-۲-۱ اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارتی سامانه دیوار ساخته شده با ملات اندودکاری انتخاب شده در پروژه و بدون آن

براساس بهینه نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی و چگالی ملات‌های اندودکاری مورد تحقیق در پروژه، ملات اندودکاری با ترکیب‌بندی ۳ انتخاب شد تا عملکرد آن به‌عنوان ملات اندودکاری عایق در سامانه دیوار مورد بررسی قرار گیرد.

دراین‌راستا دیواری با استفاده از بلوک‌های سفالی به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر روی قاب نگهدارنده به‌ابعاد (۳۰۰ × ۳۰۰) سانتی‌متر ساخته و سمت گرم آن با یک لایه ملات گچی به‌ضخامت حدود ۲ سانتی‌متر و سمت سرد آن با یک لایه ملات سیمانی به‌ضخامت حدود ۲ سانتی‌متراندود شد.

آزمون اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارتی دیوار فوق الذکر با استفاده از دستگاه محفظه گرم محفوظ و براساس استاندارد ASTM C 1363-11 در آزمایشگاه انرژی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی انجام شد[۲۲]. در شکل ۳-۱ سامانه دیوار بدون اجرای ملات اندودکاری منتخب در پروژه مشاهده می‌شود.

شکل ۳-۱ سامانه دیوار ساخته شده با بلوک‌های سفالی بدون اجرای ملات اندودکاری منتخب در پروژه

پس از انجام آزمون اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت و مقاومت حرارتی سامانه دیوارموردنظر، برروی همین دیوار یک لایه ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی (ترکیب‌بندی۳) به ضخامت حدود ۵ cm اجرا شد. در شکل ۳-۲ دیواردر حال اجرا با ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی و پس از اجرای ملات نشان داده شده است.

۳-۲ دیوار در حین و بعد ازاجرای ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی

پس از خشک شدن ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی، برای اندازه‌گیری دمای سطح دیوار از ۹ عدد ترموکوپل روی هر سمت دیوار استفاده شد. به‌طوری‌که اولین ترموکوپل در مرکز قاب و بقیه ترموکوپلها روی اضلاع مربعی به‌ابعاد (۱۵۰ × ۱۵۰) سانتی‌متر نسبت به مرکز قاب و به فاصله ۷۵ سانتی‌متری از یکدیگر قرارگرفتند. شکل ۳-۳ نصب ترموکوپل‌ها در مرکز قاب را نشان می‌دهد.

شکل ۳-۳ نصب ترموکوپل‌ها در مرکز قاب

به‌طور معمول برای اندازه‌گیری دمای هوای بفل[1] (سپرک) در محفظه سرد، از ٤٢ عدد ترموکوپل که در ٦ سطر و ٧ ستون به فاصله یکسان و به‌طور متقارن قرار دارند، استفاده می‌شود. برای به‌حداقل رساندن اثرات تابش، هر یک از آن‌ها داخل غلافی که داخل و بیرون آن با فویل آلومینیومی پوشانده شده است، در فاصله ١٠ سانتی‌متر از سطح، قرار داده می‌شوند. همچنین دمای سطح بفل هم با ٤٢ عدد ترموکوپل که در همان نقاط اما روی سطح چسبانده شده است، اندازه‌گیری می‌شود.

اندازه‌گیری دمای هوا و دمای سطح در بفل گرم نیز با ٤٠ عدد ترموکوپل، در ٤ سطر و ٥ ستون به همان روش انجام می‌شود.

اندازه‌گیری‌ها، ٤٨ ساعت پس از شروع آزمون به‌منظور ایجاد شرایط تعادل دمایی صورت گرفت. در شکل ٣-٤ قرار گرفتن دیوار با ترموکوپل‌ها درون دستگاه اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت، مشاهده می‌شود.

شکل ٣-٤ قرارگرفتن دیوار با ترموکوپل‌ها درون دستگاه اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت

نتایج به‌دست آمده از این دو شرایط اندازه‌گیری، در جدول ٣-١ مشاهده می‌شود.

1- Baffle

۳-۱ نتایج آزمون ضریب انتقال حرارت کل و مقاومت حرارتی کل دیوار ساخته شده با بلوک‌های سفالی (به ابعاد ۹ متر مربع) قبل و بعد از اجرای ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی

مشخصات آزمونه	اختلاف دما (K)	ضریب انتقال حرارت کل ($W/m^2.K$)	مقاومت حرارتی کل ($m^2.K/W$)
دیوار ساخته شده با بلوک‌های سفالی قبل از اجرای ملات اندودکاری	۲۱/۵	۱/۱۵	۰/۷۳۱
دیوار ساخته شده با بلوک‌های سفالی پس از اجرای ملات اندودکاری به‌ضخامت ۵ سانتی‌متر	۲۱/۷	۱/۰۲	۰/۸۳۲

۳-۲-۱-۱ ارزیابی نتایج اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت سامانه دیوار اجرا شده با ملات اندودکاری و بدون آن و مقایسه آن‌ها با یکدیگر

نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت و مقاومت حرارتی کل دیوار ساخته شده با بلوک سفالی (به ابعاد ۹ متر مربع) قبل از اجرای ملات اندودکاری و به دنبال آن پس از اجرای ۵ سانتی‌متر ملات اندودکاری (با ترکیب‌بندی ۳) ، نشان می‌دهد که :

– ضریب انتقال حرارت کل سامانه دیوار با اجرای ۵ سانتی‌متر ملات اندود کاری سبک و عایق حرارتی نسبت به دیوار مشابه بدون اجرای ملات اندودکاری کمتر است.

– مقاومت حرارتی کل سامانه دیوار با اجرای ۵ سانتی متر ملات اندود کاری سبک و عایق حرارتی نسبت به دیوار مشابه بدون اجرای ملات اندودکاری بیشتراست.

شایان ذکر است که نتایج به دست آمده از آزمون محفظه گرم از حد انتظار کمتر بوده است. دلیل این امر بدی آب و هوا و ناکافی بودن زمان خشک شدن دیوار است که فرصت کافی برای خروج آب از اندود را نداشته است. افزایش رطوبت باعث بالا رفتن ضریب هدایت حرارتی می‌شود. در شرایط آزمایشگاهی قرار دادن آزمونه در گرمخانه برای خشک شدن وجود دارد و همین امر پایین بودن ضریب هدایت حرارتی را توجیه

می‌کند. بنابراین در شرایط واقعی دیوار ساخته شده برای اینکه کاملا خشک شود باید چندین ماه بعد، مورد آزمون قرار گیرد.

با مقایسه نتایج به‌دست آمده از مقاومت حرارتی کل می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اجرای این نوع ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی، سبب افزایش مقاومت حرارتی کل به میزان ١٤ درصد شده است.

۳-۳ برآورد اقتصادی و بازگشت سرمایه

به‌طور کلی برای برآورد اقتصادی استفاده از ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی منتخب در پروژه نسبت به ملات ماسه – سیمان متداول در ساخت و ساز و همچنین زمان بازگشت سرمایه، در ابتدا هزینه تمام شده هر کدام از ملات‌های اندودکاری برای یک متر مربع در ضخامت اجرا شده، محاسبه می‌شود و سپس زمان بازگشت سرمایه به مصرف کننده، به‌دست می‌آید[۲۳].

۳-۳-۱ هزینه تمام شده ملات ماسه – سیمان و ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی منتخب در پروژه

برای محاسبه هزینه‌های تمام شده ملات ماسه – سیمان و ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی منتخب در پروژه، هزینه کلیه مصالح به‌کار رفته در این دو نوع ملات برآورد شد.

ازآن‌جایی که ضریب انتقال حرارت و مقاومت حرارتی کل برای ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی منتخب در پروژه با ضخامت ۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری شده است، بنابراین هزینه تمام شده ملات ماسه – سیمان و ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی منتخب در پروژه برای ضخامت مشخص شده، محاسبه شد. در جدول ۳-۲ قیمت پایه مصالح به‌کار رفته در ملات ماسه – سیمان و ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی منتخب در پروژه ارائه شده است.

۳-۲ هزینه مصالح به‌کار رفته در ملات ماسه – سیمان و ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی منتخب در پروژه

نوع مصالح	هزینه یک کیلوگرم – ریال
سیمان	۱/۳۰۰/–
ماسه ملاتی	۱۷۰/–
پرلیت	۵/۰۰۰/–
خاک رس	۳/۰۰۰/–
پوزولان	۱/۲۰۰/–

با توجه به اینکه از ملات اندودکاری با ترکیب بندی ۳ در سامانه دیوار استفاده شده ، بنابراین محاسبات هزینه مصالح مورد استفاده، بر مبنای اجزای تشکیل دهنده آن مطابق جدول ۲-۹ صورت گرفته است.

در جدول ۳- ۳ هزینه تمام شده با توجه به نسبت اجزای تشکیل‌دهنده در یک مترمربع با ضخامت ۵ سانتی‌متر برای ملات ماسه – سیمان وملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی منتخب در پروژه، ارائه شده است.

۳-۳ هزینه تمام شده با توجه به نسبت اجزای تشکیل‌دهنده در یک متر مربع با ضخامت ۵ سانتی‌متر برای ملات ماسه – سیمان و ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی منتخب در پروژه

نوع مصالح	هزینه ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی (Rs/m^3)	هزینه ملات اندودکاری ماسه – سیمان (Rs/m^3)
سیمان	۲۶/۷۱۰/–	۳۲/۵۰۰/–
ماسه ملاتی	–	۱۲/۷۵۰/–
پرلیت	۱۶/۴۴۰/–	–
خاک رس	۲۵/۶۸۰/–	–
پوزولان	۶۸/۴۸۰/–	–
هزینه کل یک متر مربع با ضخامت ۵ سانتی‌متر	۱۳۷/۳۰۰/–	۴۵/۲۵۰/–

۳-۳-۲ محاسبه صرفه‌جویی سالانه انرژی

به‌طور کلی اتلاف گرما در ساختمان‌ها از طریق دیوارهای بیرونی، بام، کف، پنجره‌ها و جابه‌جایی هوا رخ می‌دهد. در این تحقیق اتلاف گرما تنها از طریق دیوارهای بیرونی درنظر گرفته شده است. بارهای حرارتی با استفاده از روش روز- درجه گرمایش و یا روز- درجه سرمایش محاسبه شده است[۲٤].

روز- درجه گرمایش و روز- درجه سرمایش از عواملی هستند که بستگی به درجه حرارت متوسط هوا در طی یک روز دارند و نشان‌دهنده این است که چه میزان باید درجه حرارت متوسط هوا در طی روز افزایش یا کاهش یابد تا برای زندگی مناسب شود و درنتیجه آنچه مقدار انرژی باید برای گرم کردن یا خنک کردن هوا مصرف کرد.

شایان ذکر است که روز- درجه گرمایش و روز- درجه سرمایش را براساس تعداد روزهای شمارش شده برمبنای درجه حرارت متوسط روزانه هوا نسبت به درجه حرارت مبنا یا آسایش (۱۸/۳ درجه‌سانتی‌گراد) که بالاتر یا پایین‌تر است، درنظر گرفته می‌شود.

قابل توجه است که روز- درجه گرمایش، درجه حرارت متوسط ازدرجه‌حرارت مبنا کمتر و روز- درجه سرمایش، درجه حرارت متوسط از درجه حرارت مبنا بیشتراست[۲۵].

در جدول ۳-٤ روز- درجه گرمایش و روز- درجه سرمایش، برای ٦ منطقه شهر تهران ارائه شده است[۲٦].

جدول ۳-٤ روز- درجه گرمایش و روز- درجه سرمایش، برای ٦ منطقه شهر تهران

نام مناطق تهران	روز – درجه گرمایش	روز – درجه سرمایش
پارک شهر	۱۷۳۷	٦٤۲
دوشان تپه	۱٦٦۲	۹۹٦
سعد آباد	۲٤٦٥	۳۳۹
مهرآباد	۱۷٤۱	۹۰۸
نارمک	۱۹۰۷	٦۱۲
نمایشگاه بین‌المللی	۲۲۳٦	٤۹۱

با توجه به روز- درجه گرمایش و روز- درجه سرمایش می‌توان صرفه‌جویی سالانه انرژی را به‌دست آورد.

تعریف صرفه‌جویی در مصرف انرژی در واحد سطح دیوار، تفاوت بین انرژی مورد نیاز دیوار عایق نشده و دیوار عایق شده می‌باشد. همچنین صرفه‌جویی سالانه انرژی از اختلاف ضریب انتقال حرارتی کل سامانه دیوار با اجرای ملات اندود کاری سبک و عایق حرارتی و بدون اجرای ملات اندودکاری در مقدار روز- درجه گرمایش و روز درجه سرمایش، به‌دست می‌آید[۲۷].

براساس تعریف، مقدار ضریب انتقال حرارتی کل برای سامانه دیوار با اجرای ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی و بدون اجرای ملات اندودکاری در آزمایشگاه انرژی مرکز به‌دست آمد.

مقدار روز- درجه گرمایش و سرمایش، ٦ منطقه شهر تهران در اختلاف ضریب انتقال حرارت کل برای دیوار بدون اندود و دیوار با ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی و همچنین با احتساب بازدهی سیستم‌های گرمایشی و سرمایش به میزان ۷۰ درصد، صرفه‌جویی سالانه انرژی در این شش منطقه محاسبه شد.

برای به‌دست آوردن هزینه صرفه‌جویی در سال باید علاوه بر صرفه‌جویی سالانه انرژی، هزینه بهای میزان مصرف سالیانه حامل انرژی (روز- درجه سرمایش مصرف انرژی گاز طبیعی و روز- درجه گرمایش مصرف انرژی برق) را مدنظر قرارداد.

در روزهای گرم سال که درجه‌حرارت متوسط روزانه از درجه‌حرارت مبنا بالاتر است باید از وسایل سردکننده مانند کولر استفاده کرد که نوع انرژی مصرف شده معمول در ساختمان‌های خانگی، برق است. همچنین در روزهای سرد سال که درجه حرارت متوسط روزانه از درجه‌حرارت مبنا پایین‌تر است باید از وسایل گرمایشی مانند بخاری یا شوفاژ استفاده کرد که سوخت متداول برای مصارف خانگی گاز طبیعی است[۲۸].

در این تحقیق به‌طور نمونه روز- درجه گرمایش برای شش منطقه تهران مورد بررسی قرار گرفت. شایان ذکر است که نوع سوخت متداول اغلب ساختمان‌های مسکونی در شهر تهران برق است.

میزان مصرف برق برای سرمایش هر ساختمان مسکونی، تقریباً ۱۰۰ کیلووات ساعت، درنظر گرفته و هزینه این میزان کیلووات ساعت از روی فیش برق، محاسبه شد[۲۹].

در جدول ۳– ۵، صرفه‌جویی سالانه انرژی و هزینه صرفه‌جویی شده در یک‌سال برای٦ منطقه شهر تهران ارائه شده است.

جدول ۳–۵ صرفه‌جویی سالانه انرژی و هزینه برای ٦ منطقه شهر تهران

نام مناطق تهران	صرفه‌جویی سالانه انرژی (kWh/m^2)	صرفه‌جویی هزینه در سال (Rs/m^2)
پارک شهر	۳/۷۹	۱٦٦۹
دوشان تپه	۳/٦۳	۱۵۹۷
سعد آباد	۵/۳۸	۲۳٦۹
مهرآباد	۳/۸۰	۱٦۷۳
نارمک	٤/۱٦	۱۸۳۲/۵
نمایشگاه بین‌المللی	٤/۸۸	۲۱٤۹

۳–۳–۳ زمان برگشت سرمایه ساده و مرکب

به منظور اولویت‌بندی و تعیین اقتصادی بودن اجرای هر یک از راهکارها از معیاری به نام زمان بازگشت سرمایه ساده، استفاده می شود.

زمان دوره برگشت هزینه پیاده‌سازی راهکارهای بهینه‌سازی، تابعی از ارزش صرفه-جویی ریالی حاصل از کاهش مصرف انرژی، خواهد بود. استفاده از این روش برآورد اقتصادی در عین سادگی، برای تعیین اقتصادی بودن یا نبودن راهکارها و همچنین اولویت بندی اجرای هر یک کافی است[۲۳].

زمان بازگشت سرمایه ساده (SPT) [1] براساس معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{زمان بازگشت سرمایه ساده} = \frac{\text{اختلاف هزینه کل یک متر مربع با ضخامت ۵ سانتی‌متر}}{\text{صرفه‌جویی هزینه انرژی در سال}}$$

1- Simple Payback Time

پس از به‌دست آوردن مقدار و قیمت برق مصرفی سالیانه برای تامین سرمایش در ساختمان، مقدار صرفه‌جویی انرژی در سال و همچنین با محاسبه اختلاف هزینه کل یک متر مربع با ضخامت ۵ سانتی‌متر، زمان بازگشت سرمایه ساده به‌دست آمد.

شایان ذکر است که با توجه به درنظر گرفتن تورم سالیانه[۳۰]، بازگشت سرمایه مرکب نیز محاسبه شد.

در جدول ۳-٦ زمان بازگشت سرمایه ساده و مرکب برای ٦ منطقه شهر تهران نشان داده شده است.

جدول ۳-٦ زمان بازگشت سرمایه ساده و مرکب برای ٦ منطقه شهر تهران

نام مناطق تهران	زمان برگشت سرمایه ساده - (سال)	زمان برگشت سرمایه مرکب - (سال)
پارک شهر	۵/۵	۱/٦
دوشان تپه	۵/۸	۱/٦
سعدآباد	۳/۹	۱/۵
مهرآباد	۵/۵	۱/٦
نارمک	۵/۰	۱/۵
نمایشگاه بین‌المللی	٤/۳	۱/۵

ارزیابی نتایج نشان می‌دهد که هر چه تعداد روزهای گرم سال در فصل تابستان بیشتر باشد، زمان برگشت سرمایه زودتر است. به‌عبارت دیگر هرچه درجه حرارت متوسط هوا کمتر باشد. درجه روز- گرمایش بیشتر و نیز مصرف برق بیشتری پیش‌بینی خواهد شد.

شایان ذکر است که زمان برگشت سرمایه با گاز طولانی‌تر است و این امر به دلیل پایین بودن ارزش حامل‌های انرژی در ایران نسبت به استانداردهای جهانی است.

حال در نظر گرفته شود که اگر در تعداد ۲۰۰۰۰۰ ساختمان برای سطح نمای ۵۰ مترمربع دیوار این نوع ساختمان‌ها از ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی استفاده شود. کل مقدار انرژی صرفه‌جویی شده در سال (برای همین تعداد ساختمان وسطح

نمای ۵۰ متر مربع) به‌طور متوسط بین ۳۵/۰۰۰/۰۰۰ تا ۵۰/۰۰۰/۰۰۰ (kWh) خواهد بود.

هزینه تمام شده سطح نمای ۵۰ مترمربع با ضخامت ۵ سانتی‌متری ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی برای ۲۰۰۰۰۰ ساختمان تقریباً در حدود ۱/٤۰۰/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰/- ریال (معادل۱٤۰ میلیارد تومان) است.

بنابراین ارزش کل مقدار انرژی صرفه‌جویی شده برای همان تعداد ساختمان در طی یک‌سال ۲۳ میلیارد ریال است. به این ترتیب برای یک منطقه تهران مانند سعدآباد که روز- درجه گرمایش آن بیشتر است، بازگشت سرمایه مرکب با در نظر گرفتن تورم ۱٦/۵ درصد، با استفاده از نرم‌افزار برای جدارهای غیرشفاف حدود ۱/۵ سال به طول می‌انجامد.

شایان ذکر است که اثر کم رنگ اندود به دلیل خشک نشدن اندود اعمال شده به ضخامت ۵ سانتی‌متراست، بنابراین محاسبه دقیق میزان صرفه جویی باید با شبیه سازی عددی صورت گیرد.

٤-۳ تفسیر نتایج

نتایج به‌دست آمده از ۱۵ ترکیب بندی(شامل ۱۲ ترکیب بندی در مرحله اول و ۳ ترکیب بندی تکمیلی) ملات های اندودکاری ساخته شده نشان می دهد که:

- مقاومت فشاری هر ۱۵ ترکیب‌بندی ملات اندودکاری مورد تحقیق در رده CSIII استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۰٦ قرار دارد.
- چگالی ۱۰ ترکیب‌بندی از ۱۵ ترکیب‌بندی ملات اندودکاری مورد تحقیق مساوی یا کمتر از ۱۳۰۰ کیلوگرم برمترمکعب و مطابق با ویژگی ارائه شده در استاندارد ملی ایران شماره۱- ۷۰٦ است.
- ضریب جذب آب موئینه از ۱۵ ترکیب بندی ملات اندودکاری مورد تحقیق، ۲ ترکیب بندی در رده W0 ، ٤ ترکیب بندی در رده W1 و ۹ ترکیب بندی در رده

W2 قرار دارند. بنابراین ۱۳ ترکیب بندی قابلیت کاربرد در اجزای بیرونی ساختمان را دارا می باشند.

- مقاومت چسبندگی آزمونه‌های ملات انـدودکاری ۱۵ ترکیـب‌بنـدی مختلـف نشـان می‌دهد که گسیختگی همه ملات‌های انـدودکاری سـاخته شـده مطـابق بـا الگـوی استاندارد است.
- ضریب نفوذپذیری بخارآب ۱۵ ترکیب‌بندی ملات اندودکاری مورد تحقیق، مطابق با ویژگی ارائه شده در استاندارد ملی ایران شماره ۱- ۷۰٦، است.
- ضریب هدایت حرارتی آزمونه‌های ملات اندودکاری ۵ ترکیب بنـدی از ۱۰ ترکیـب بندی (انتخاب شده بر اساس چگالی) مطابق با ویژگی ارائه شده در اسـتاندارد ملـی ایران شماره ۱- ۷۰٦ است و در رده T2، قرار دارد.
- از ۵ ترکیب بندی مربوط به ضریب هدایت حرارتی که مطابق با تمامی ویژگی‌هـای استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۰٦ است، ترکیب بندی ۳ به دلیل دارا بودن کمتـرین ضریب هدایت حرارتی، به عنوان ترکیب بندی بهینه انتخاب شد.
- ضریب انتقال حرارت کل سامانه دیوار با اجرای مـلات انـدودکاری سـبک و عـایق حرارتی(ترکیب بندی ۳) به ضخامت ۵ سانتی متر در مقایسه با سامانه دیوار مشـابه بدون اجرای ملات اندود کاری، ۱۱ درصد کمتر است.
- مقاومت حرارتی کـل سـامانه دیـوار بـا اجـرای مـلات انـدودکاری سـبک و عـایق حرارتی(ترکیب‌بندی ۳) به ضخامت ۵ سانتی‌متر در مقایسه با سـامانه دیـوار مشـابه بدون اجرای ملات اندود کاری، ١٤ درصد بیشتر است.

۳-۵ نتیجه‌گیری کلی

با بررسی نتایج به‌دست آمده و مقایسه آنها با ویژگی‌های استاندارد ملی ایران شـماره۱- ۷۰٦ ، ترکیب‌بندی ۳ به‌عنوان بهینه ترکیب‌بندی ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی انتخاب شد.

برآورد اقتصادی این ملات، پس از تعیین ضریب انتقال حرارت و محاسبه هزینـه تمـام شده آن و مقایسه آن با ملات ماسه - سیمان انجام شد.

با توجه به پرهزینه و گران بودن ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی نسبت به ملات ماسه– سیمان، زمان بازگشت سرمایه مرکب ۱/۵ سال به‌طول می‌انجامد. درنتیجه انجام سرمایه گذاری اولیه، یک سرمایه گذاری معقول با زمان بازگشت پایین است.

شایان ذکر است که استفاده از ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی، علاوه بر بالابردن میزان آسایش در ساختمان، باعث کاهش هزینه جاری و کوچک شدن تاسیسات حرارتی ساختمان و در نتیجه پایین آمدن هزینه اولیه و هزینه‌های تعمیر و نگه‌داری آن می‌شود.

فصل چهارم

راهنمای طراحی، آماده‌سازی و اجرای اندودهای سبک و عایق حرارتی بیرونی

٤-١ کلیات

در این راهنما که برگرفته از استاندارد EN13914-1 [٣١] است، الزامات و توصیه‌هایی برای طراحی، آماده‌سازی و کاربرد این نوع اندودها روی همه انواع مصالح پشت‌کار متداول ارائه شده است.

به دلیل تنوع زیاد و گوناگونی مصالح و اجرا و شرایط آب و هوایی مختلف در کشور، با توجه به جنبه‌های اجرایی، امکان در نظر گرفتن جزئیات کافی در هر منطقه که به‌طور کامل برای کاربر قابل استفاده باشد، وجود ندارد. بنابراین این راهنما در توصیه‌های اساسی ارایه شده در اسناد و مدارک تهیه شده در هر منطقه تغییری ایجاد نمی‌کند.

٤-٢ اصول اساسی و برنامه ساختمانی

٤-٢-١ اصول اساسی

به‌منظور تهیه رهنمود مناسب برای اجرای کار، طراحی باید شامل نقشه‌ها و مشخصاتی باشدکه با جزئیات کافی تهیه شده است. هنگام تهیه جرئیات اندودکاری، همه موارد

زیر باید در طراحی درنظرگرفته شود:

الف) ماهیت و شرایط مصالح پشت‌کار؛

ب) ماهیت و شرایط رویارویی اندودکاری؛

پ) الزامات عملکردی؛

ت) نوع اندودکاری؛

ث) نوع پرداخت/ نما.

بین همه کسانی‌که مسئول عملیات ساختمانی، اندودکاری و کارهای بعدی و سایر فعالیت‌هایی هستند که روی اندودکاری تأثیرگذار است و یا تحت تأثیر آن قرار می‌گیرد، باید تا حد امکان اطلاعات مبادله شود. الزامات دیگری باید به شرح زیر درنظرگرفته شود:

الف) داربست؛

ب) نیاز به هرگونه عمل‌آوری؛

پ) نظارت بر پیشرفت کار.

٤-۲-۲ برنامه کاری ساختمان

در تهیه برنامه زمان‌بندی برای عملیات موجود ساختمانی درگیر در ساختمان، هر فعالیتی باید در ارتباط با سایر کارها در نظرگرفته شود.

در مورد برنامه زمانی برای همه فعالیت‌های لازم و ترتیب درست پیشبرد این فعالیت‌ها، باید بین همه عوامل کارگاهی توافق حاصل شود. برنامه باید همزمان با پیشرفت پروژه به‌روزرسانی شود تا از خسارت ناشی از پیامد بعدی جلوگیری به‌عمل آید.

موارد زیر باید توسط همه کسانی‌که در طرح‌ریزی برنامه کاری درگیر هستند، درنظر گرفته شود:

الف) مناسب بودن شرایط جوی برای اجرای اندود؛

ب) در نظر گرفتن زمان کافی برای مصالح پشت‌کار به‌منظور بازرسی و خشک شدن؛

پ) در نظر گرفتن زمان کافی برای آماده‌سازی مصالح پشت‌کار، اجرا و خشک شدن هر لایه اندودکاری؛

ت) به‌روزرسانی برنامه کاری همزمان با پیشرفت پروژه؛
ث) در نظر گرفتن زمان کافی برای بازرسی کار در حین پیشرفت؛
ج) دمای مصالح پشت‌کار و هوا نباید زیر ۵ درجه سلسیوس باشد.
تاریخ‌های ثبت شده برای کامل شدن هر بخش اندودکاری باید نگه‌داری شود.

٤-٣ ملاحظات طراحی

چنانچه در مقررات ملی مرتبط با طراحی جزئیات بیشتری وجود دارد باید در الویت قرار گیرد.

٤-٣-١ عوامل تأثیرگذار روی طراحی سامانه اندودکاری

٤-٣-١-١ انتخاب مخلوط مناسب اندود، تعداد لایه‌ها و ضخامت

انتخاب سامانه اندودکاری به ظاهر موردنظر، شرایط رویارویی، ماهیت مصالح پشت‌کار (جدول ٤-١) و الزامات عملکردی، مانند حفاظت در برابر عوامل جوی، تنظیم رطوبت، عایق حرارتی، حفاظت صوتی بستگی دارد. بنابراین همه این عوامل باید باهم در نظر گرفته شود.

نوع اندود و مخلوط باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که با خصوصیات مصالح پشت‌کار به‌ویژه مقاومت و با توجه به‌میزان جابه‌جایی آن سازگار باشد. همچنین سازگاری بین لایه‌ها نیز باید در نظرگرفته شود.

به‌طور معمول الزامات عملکردی برای اندودهای پایه معدنی زمانی برآورده می شود که مقاومت پوشش نهایی برابر یا کمتر از مقاومت لایه زیرین باشد. هرچند این مورد برای اندودهای عایق حرارتی یا سبک که در آن اندود اصلاح شده با پلیمر با توری مسلح‌کننده استفاده می‌شود، معتبر نیست. یک سامانه اندودکاری بیرونی به‌طور معمول دارای حداقل دو لایه متشکل از زیرلایه و پوشش نهایی است. به‌جز برای فرآورده‌های با ترکیب‌بندی ویژه مانند اندودهای یک لایه که باید مطابق الزامات استاندارد ملی ایران ۱-۷۰٦ باشد. ضخامت‌های توصیه شده در جدول ٤-٢، ارائه شده است.

٤-۳-۲ آماده سازی مصالح پشت‌کار

روش اتخاذ شده باید براساس نوع و خصوصیات مصالح پشت‌کار باشد. ملاحظات زیر باید با توجه به چگونگی تهیه مصالح پشت‌کار در نظر گرفته شود:

- مقاومت کافی و سفتی برای نگهداری اندود.
- اتصال و جذب یکنواخت و کافی به‌منظور چسبندگی اندودکاری.

چنانچه مشخصات یاد شده در بالا در مورد مصالح پشت‌کار کافی نباشد، دراین‌صورت برای تأمین تکیه‌گاه و اتصال، تمهیدات دیگری مورد نیاز خواهد بود (بند ٤-۹-٤).

٤-۳-۳ خصوصیات مصالح پشت‌کار

هنگام طراحی یک سامانه اندودکاری، خصوصیات شرح داده شده در زیر برای مصالح پشت‌کار باید در نظر گرفته شود. مصالح پشت‌کار و مواد تشکیل‌دهنده آن باید مطابق استانداردهای مربوط باشد.

٤-۳-٤ مقاومت مصالح پشت‌کار

مصالح پشت کار باید به قدر کافی اندودکاری را نگه‌داری و تحمل کند. مصالح پشت کار بنایی شامل ملات بنایی (بستر) نباید ضعیف‌تر از ملات اندودکاری و باید ترجیحاً کمی مقاوم‌تر از آن باشد. برای مصالح پشت‌کار ضعیف‌تر، مخلوط‌های اندودکاری ضعیف‌تر باید انتخاب شود.

٤-۳-۵ جذب آب مصالح پشت‌کار

چسبندگی اندودکاری، رابطه زیادی با جذب آب مصالح پشت‌کار دارد، به‌ویژه زمانی‌که هیچ‌گونه اتصال کافی وجود ندارد. جذب زیاد (که به‌سرعت سبب جذب آب اختلاط می‌شود) و جذب کم سبب ضعف در پیشرفت چسبندگی مطلوب می‌شود. باید توجه شود که جذب آب مصالح پشت‌کار می‌تواند به‌طور عمده‌ای تحت تأثیر میزان رطوبت آن در هر زمان معین قرار گیرد.

٤-٣-٦ اتصال مصالح پشت‌کار

اتصال را می‌توان به‌طور طبیعی یا مصنوعی تأمین کرد و باید به‌طور یکنواخت روی همه سطح ایجاد شود. مصالح پشت‌کار باید تمیز، بدون گردوخاک و هرگونه رونشست‌هایی باشد که ممکن است چسبندگی اندود را کاهش دهد. برای مصالح پشت‌کاری که عمل اتصال به‌طور طبیعی ایجاد نمی‌شود، روش‌های تأمین اتصال در بند ٤-٩-٤ ارائه شده است.

٤-٣-٧ درزهای جابه‌جایی در مصالح پشت‌کار

در طراحی باید نوع و اجرای درزها مشخص شود. درزها در اندود باید منطبق با درزهای حرکتی در سازه باشد و امکان حرکت به همان میزان را فراهم کند.

در سایر مصالح پشت‌کار مانند دیوارهای دارای درزهای حرکتی ناکافی، یا در محل اتصال بین مصالح غیرمشابه، امکان ایجاد ترک پس از اندودکاری وجود دارد.

٤-٣-٨ ترک‌ها در مصالح پشت‌کار

هنگامی‌که اندودکاری روی مصالح پشت‌کار با ترک‌های موجود مربوط به استفاده از مسلح‌کننده یا واسط انجام می‌شود، باید تمهیدات ویژه‌ای درنظر گرفته شود[۳۱]. در صورت اجرای اندود روی مصالح پشت کار ترک خورده، احتمال خرابی وجود دارد. بنابراین مصالح پشت‌کار باید پایدار و بدون ترک باشد.

٤-٣-٩ پایداری ابعادی مصالح پشت‌کار

تغییرات ابعادی در مصالح پشت‌کار باید تا حد زیادی پیش از اندودکاری رخ دهد.

اندود اجرا شده روی مصالح پشت‌کار ممکن است به‌دلیل جابجایی سازه، تغییرمکان دال‌های‌کف، جمع‌شدگی بتن و/یا میزان رطوبت زیاد مصالح بنایی حرکت کند و در آن ترک ایجاد شود.

٤-٣-١٠ دوام مصالح پشت‌کار

دوام انواع مختلف مصالح پشت‌کار که در آن‌ها اندودکاری انجام می‌شود، باید مطابق با آئین‌کار مربوط باشد.

چنانچه مصالح پشت‌کار در برابر یخ‌زدگی پایدار نباشد، در این زمینه باید احتیاط‌های ویژه درنظر گرفته شود.

مصالح پشت‌کار نباید دارای مقادیر مضری از نمک‌های محلول یا مواد خورنده باشد. چنانچه موارد ذکر شده وجود داشته باشد، درنظرگرفتن احتیاط‌های ویژه الزامی است. وجود حتی چند قطعه معیوب در مصالح پشت‌کار دیوار اندود شده می‌تواند منجر به ظاهری ناپسند شود و خرابی را گسترده کند.

٤-٣-١١ مناسب بودن مصالح پشت‌کار

آماده‌سازی مصالح پشت‌کار به رفتار جذب سطح، مقاومت مصالح پشت‌کار و مواد مشخص شده برای اندودکاری بستگی دارد. راهنمایی کلی در زمینه لزوم استفاده از اندودهای ویژه، آماده‌سازی مناسب یا تکیه‌گاه بیشتر با توجه به انواع مختلف مصالح پشت‌کار، در جدول ٤-١ ارائه شده است.

همچنین جزئیات پاک‌سازی، آماده‌سازی و تکیه‌گاه‌های تکمیلی مختلف در بند ٤-٩-٤-١ ارائه شده است.

جدول٤-١ خلاصه‌ای از اقدامات لازم روی انواع مختلف مصالح پشت‌کار پیش از اندودکاری

	مصالح پشت‌کار	آماده‌سازی[۱،٤]
الف	مصالح بنایی رسی	به طور معمول پاک‌سازی ویژه ای برای مصالح پشت کار، زمانی که جذب آب یکنواختی را نشان می‌دهد، لازم نیست.
ب	آجرهای بتنی و ماسه- آهکی (کلسیم -سیلیکاتی) یا بلوک‌کاری	بسته به جذب آب و اتصال، ممکن است نیاز به پاک‌سازی و آماده‌سازی با استفاده از ملات پاششی تگرگی برای اصلاح جذب آب، یا ملات سیمانی اصلاح شده با پلیمر یا زیرکوبی فلزی برای اصلاح چسبندگی باشد.
پ	بلوک‌کاری با بلوک‌های سفالی سبک	برای اطمینان از یکسان بودن میزان جذب آب بلوک‌های سفالی سبک با آجرهای رسی معمولی، میزان جذب باید مورد بازرسی قرار گیرد. در صورت یکسان نبودن جذب آب، ممکن است به اقدامات احتیاطی ویژه ای نیاز باشد، مانند استفاده از پرایمر یا زیرکوبی فلزی.
ت	قطعات بزرگ بتنی سبک	اقدامات احتیاطی ویژه براساس توصیه‌های تولیدکننده اجزا یا اندود.
ث	بلوک‌کاری با بلوک‌های بتنی هوادار اتوکلاو شده سبک	ممکن است بسته به نوع اندود، نیاز به آماده‌سازی برای کاهش جذب آب باشد.
ج	بلوک‌کاری با بلوک‌های بتنی سبک (سبکدانه)	هنگامی که بلوک های بتنی سبک دارای سطح زبر و جذب آب کم باشند، نیاز به آماده‌سازی ویژه ای نیست.
چ	بلوک‌کاری با بلوک‌های بتنی معمولی و با چگالی زیاد	بسته به جذب و اتصال، ممکن است نیاز به استفاده از مواد چسباننده، ملات پاششی تگرگی یا واسط باشد.
ح	سنگ‌چینی با قطعات ماسه سنگی	استفاده از ملات پاششی تگرگی ماسه سیمان یا پرایمر.
خ	بتن با سطح صاف	استفاده از پرایمر یا مواد چسباننده.
د	بتن با سطح زبر	به‌طور معمول نیاز به آماده‌سازی ندارد.
ذ	بلوک‌کاری با بلوک‌های پایه سیمان/چوب یا تخته‌های پشم چوب[۲،۳]	– هنگامی که اندود از نوع آهک/سیمانی است، از ملات پاششی تگرگی استفاده شود. – هنگامی که اندود از نوع آهک/سیمانی سبک است و از توری الیاف شیشه استفاده می شود، نیازی به آماده‌سازی نیست. – هنگامی که اندود از نوع آهک/سیمانی عایق‌حرارتی است و از توری الیاف شیشه استفاده می شود، به کارگیری ملات پاششی تگرگی و واسط فلزی توصیه می‌شود.

ر	قالب ماندگار – بلوک‌های پایه سیمانی/سنگدانه	استفاده از آماده‌سازی ویژه براساس توصیه‌های تولیدکننده بلوک.
ز	سطوح اندود قدیمی	سطوح اندود قدیمی را می توان با استفاده از مواد چسباننده/یا زیرکوبی فلزی، دوباره اندود کرد. در صورت وجود ترک در اندود قدیمی، براساس استاندارد EN 13914-1 عمل شود.
ژ	پوشش اندود قبلی	ممکن است برای همسان کردن جذب آب به یک پرایمر و برای بهبود چسبندگی به یک ماده چسیاننده نیاز باشد.
س	صفحات پلی‌استایرن اکسترودشده و منبسط‌شده و پلی‌اورتان[۳]	استفاده از یک ماده چسباننده.
ش	الوار، به عنوان مثال: قاب‌بندی، ورق‌ها	استفاده از یک واسط مورد نیاز است.
ص	مناطق دارای بیش از یک نوع مصالح پشت‌کار، به‌عنوان مثال مصالح بنایی مختلط، قاب‌بندی چوبی پرشده (مصالح بنایی، ملات شفته آهکی و غیره)	بسته به نوع اندود اجراشده، ممکن است به یک واسط یا اندود زیرین مسلح شده نیاز باشد.

۱- برای آماده‌سازی ویژه، ممکن است تولید کننده مصالح پشت‌کار/ فرآورده، توصیه‌ای ارائه کند.
۲- پشم چوب باید خشک باشد و از هوای نمناک محافظت شود.
۳- درزهای تخته باید بسته شود. روش‌های آماده‌سازی سطوح تخته به شرح زیر است:
۳-۱- همپوشانی با مسلح‌کننده؛
۳-۲- برای صفحات ساخته شده از پلی‌استایرن و پلی‌اورتان با سطوح زبر، سامانه‌های آماده‌سازی با استفاده از لایه‌های نازک اندودهای پایه سیمان اصلاح شده با پلیمر انجام می‌شود. این نوع فرآورده‌ها باید حداقل به‌مدت یک روز پیش از کاربرد سامانه اندودکاری مستقر شده باشند.
٤- به‌طور معمول اندودهای آلی، اندودهای باتارد- سیمان اصلاح شده با پلیمر و اندودهای سیمان اصلاح شده با پلیمر بدون آماده‌سازی اجرا می‌شوند.

٤-٤ دوام اندود

برخی عوامل تأثیرگذار بر روی دوام اندود به‌شرح زیر است:

- طراحی و انتخاب اندود یا سامانه اندود مناسب برای هدف موردنظر؛
- روش‌های اجرای اندود نهایی؛
- آسیب ناشی از ضربه و سایش؛
- خوردگی فلز قرارگرفته در داخل کار؛
- طراحی مناسب درزها؛
- سازگاری اندود با مصالح پشت‌کار و چسبندگی کافی و مناسب؛
- تغییرشکل اجزای تشکیل‌دهنده مجاور یا اجزای ساختمانی؛
- ترک‌خوردگی یا ایجاد ترک ریز مویین؛
- شرایط آب و هوایی؛
- نفوذ باران و رطوبت بالا رونده؛
- شرایط رویارویی ساختمان؛
- مشکلات ناشی از نمک‌های محلول؛
- تأثیر آلودگی جوی و عمل یخزدگی.

همچنین دوام اندودکاری بستگی به نوع مصالح پشت‌کار، نوع اندودکاری، نسبت‌های مخلوط و روش اجرا دارد.

٤-٤-١ شرایط رویارویی

طراحی باید همیشه با درنظر گرفتن دانسته‌ها و تجربیات محلی به‌منظور تصمیم‌گیری درباره رده جذب‌آب موئینه (ارائه شده در استاندارد ملی ایران شماره ١-٧٠٦) و نوع مناسب اندود صورت‌گیرد.

در صورت امکان، محافظت اندودکاری باید با درنظر گرفتن جنبه‌های معماری انجام شود (بند ٤-٧ و شکل‌های ٤-١ تا ٤-٨). چنین جنبه‌های حفاظتی در شرایط بسیار

سخت حائز اهمیت است. مرطوب شدن پی در پی سطح ممکن است منجر به تولید قارچ و جلبک شود.

٤-٤-٢ پایداری دربرابر نفوذ باران

سازه باید به‌گونه‌ای طراحی و ساخته شود که مصالح پشت‌کار در طی اجرا، تاحد امکان خشک و قابل اجرا باقی بماند. شایان ذکر است که هدف از اندودکاری با اجرای نما و یا بدون آن، محدود کردن نفوذ باران به‌داخل مصالح پشت‌کار است. بنابراین اندودکاری باید تاحد امکان بدون ترک‌خوردگی باشد.

برای مصالح پشت‌کاری که محافظت آن به اندودکاری وابسته است، اصول کلی زیر باید اتخاذ شود:

الف) برای اندودهای آماده:

۱- در شرایط رویارویی سخت که اندودکاری در معرض باران سنگین است، اندودهای مورد استفاده باید دارای خصوصیات زیر باشند:

- جذب آب مؤئینه رده W2 مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۰٦.
- جذب آب رده‌های W2 یا W3 مطابق استاندارد EN 15824 [۳۲].

۲- در شرایط رویارویی متوسط، اندودهای مورد استفاده باید دارای خصوصیات زیر باشند:

- جذب آب مؤئینه رده‌های W1 و W2 مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۰٦.
- جذب آب رده‌های W2 یا W3 مطابق استاندارد EN 15824 .

۳- در شرایط رویارویی معمولی، اندودهای مورد استفاده باید دارای خصوصیات زیر باشند:

- جذب آب مؤئینه رده‌های W0، W1 و W2 مطابق استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۰٦.
- جذب آب رده‌های W1، W2 یا W3 مطابق استاندارد EN 15824 .

ب) برای اندودهای کارگاهی به‌ویژه با استفاده از مخلوط‌های از پیش تعریف شده، نسبت‌های مخلوط و تعداد لایه‌ها برای هر شرایط رویارویی با باران باید براساس

دانسته‌های محلی با عملکرد موفق، انتخاب شود. استفاده از دو زیرلایه سبب پایداری مطلوب‌تری در برابر باران خواهد شد.

٤-٤-٣ پایداری دربرابر رطوبت بالارونده از زمین بدون فشار (آب مویینه)

هنگامی‌که مصالح بنایی در تماس با زمین باشد، برای پایداری آن در برابر نفوذ رطوبت، لازم است اقدامات ویژه‌ای صورت گیرد.

بدین منظور درزگیرهای غشایی نازک از جنس قیر اصلاح شده با پلاستیک، دوغاب آب‌بند پایه معدنی یا اندودهای عایق رطوبتی را می توان مورد استفاده قرار داد. علاوه برآن، پوشش‌های محافظ (مانند ورق‌های نازک آب‌بند، تخته‌های زهکشی)، ممکن است برای حفاظت مکانیکی مورد استفاده قرار گیرد.

اندودهای بیرونی که تا داخل زمین امتداد می یابد باید علاوه بر محافظت معمول با یک مواد پوشش‌دهنده اندود نیز محافظت شوند. این مواد به طور معمول در ضخامت‌های ۲ تا ۳ میلی‌متر به‌کار برده می‌شوند.

٤-٤-٤ نمک‌های محلول

نمک‌های محلول به‌ویژه سولفات‌ها، ممکن است در مصالح پشت‌کار دارای برخی انواع آجرکاری رسی یا بلوک‌کاری، برخی انواع بلوک‌های بتنی هوادار شده و در مصالح پشت‌کار قدیمی ایجاد شود. همچنین این نوع نمک‌ها ممکن است از طریق انواع منابع بیرونی مانند رطوبت بالا رونده نیز ایجاد شود. نمک‌ها دارای اثرات زیان‌آور مشخصی هستند که منجر به ازهم‌پاشیدگی مصالح پشت‌کار، ترک خوردگی و کاهش چسبندگی با اندودکاری و سبب خوردگی هرگونه فلزات غیرپایدار در برابر خوردگی می‌شود.

مصالح پشت‌کار دارای نمک‌های محلول که به مدت طولانی مرطوب نگه‌داشته می‌شود، ممکن است تأثیر معکوسی روی اندود داشته باشد، بنابراین باید تمهیدات ویژه‌ای به‌منظور محدود کردن میزان نمک در ساختمان نو یا کاهش تأثیر آن اتخاذ شود.

روش‌های زیر را می‌توان به‌منظور کاهش آسیب‌رسانی نمک‌های محلول، مورد استفاده قرار داد:

– طراحی سازه در زمینه خشک نگه‌داشتن مصالح پشت‌کار، در چنین حالتی امکان زیان‌رسانی هرگونه نمک‌های محلول موجود در مصالح پشت‌کار روی اندودکاری بعید به‌نظر می‌رسد.

– استفاده از اندود اصلاح شده، که به‌منظور استفاده روی مصالح پشت‌کار با میزان رطوبت کم و حاوی نمک محلول، طراحی می‌شود.

٤-٤-٥ تأثیر آلودگی جوی

امکان تأثیر آلودگی جوی در ارتباط با همه مصالحی که در نمای ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد، مانند سنگ، آجر، بتن، رنگ، فلز و غیره، باید درنظر گرفته شود. تأثیر عمده آلودگی جوی، رنگ‌رفتگی موضعی سطح کار ناشی از گرد و خاکی است که از طریق هوا منتقل می‌شود. درصورتی‌که ساختمان به‌خوبی طراحی و جنبه‌های درست معماری در نظر گرفته شود، تأثیر آلودگی جوی را می‌توان به حداقل رساند.

٤-٤-٦ تأثیر یخ‌زدگی

برای به‌حداقل رساندن مشکلات ناشی از عمل یخ‌زدگی، باید در زمینه طراحی درست از جنبه‌های معماری که سبب حفاظت بسیار زیاد و همچنین انتخاب صحیح فرآورده اندود و یا نسبت‌های مخلوط می‌شود، توجه ویژه‌ای اعمال شود.

٤-٤-٧ مقاومت در برابر ضربه و سایش

برای همه اندودها امکان آسیب‌دیدگی از طریق ضربه یا سایش وجود دارد. در مناطقی که اندودها در معرض ضربه و سایش به میزان زیاد قرار دارد، برای حفاظت سطح اندود باید اقدامات احتیاطی بیش‌تری (مانند تهیه یک اندود مناسب و استفاده از نرده، دیرک، حصار یا کنج‌های محافظ بیرونی ویژه) درنظرگرفته شود.

٤-٤-٨ خوردگی فلزات

برای به حداقل رساندن احتمال خطر خوردگی، زیرکوبی فلزی و اتصالات و نبشی‌های فلزی باید از جنس فولاد زنگ‌نزن یا فولاد روی‌اندود باشد. اجزای تشکیل‌دهنده فولاد روی‌اندود را می‌توان در اندودکاری در شرایط محیطی متوسط و کارهای بازسازی ساختمان به‌جز در مناطق مشخص و شرایط محیطی ویژه، مورد استفاده قرار داد.

احتمال خطرخوردگی را می‌توان با در نظرگرفتن زمان کافی در فرآیند خشک‌شدن مصالح پشت‌کار و بین لایه‌های اندود، به حداقل رساند.

زیرکوب و نبشی‌های از جنس فولاد زنگ‌نزن باید در شرایط رویارویی ویژه مانند مناطق در معرض پاشش آب و شرایط محیطی دریایی، مورد استفاده قرارگیرد.

٤-٤-٩ ترک‌خوردگی

چنانچه مصالح پشت‌کار تحت تأثیر عملکرد اندودکاری قرارگیرد، در این‌صورت در طراحی سازه باید احتمال جابه‌جایی مصالح پشت‌کار درنظرگرفته شود. با استفاده از درز، در مصالح پشت‌کار و اندودکاری می‌توان ایجاد ترک‌خوردگی را کاهش داد.

ترک خوردگی در اندودها به شرایط مصالح پشت‌کار، انتخاب اندود و اجرا بستگی دارد. ترک‌ها در حدی مجاز است که روی عملکرد اندود از جنبه‌های فنی و زیبایی تاثیرگذار نباشد.

٤-٤-١٠ جابه‌جایی مصالح پشت‌کار

جابه‌جایی در ساختمان یا مصالح پشت‌کاری که برروی آن‌ها اندود اجرا می‌شود، ممکن است به‌دلایل مختلف باشد. چنین جابه‌جایی‌هایی منجر به ترک‌خوردگی یا جداشدگی اندود می‌شود. طراحی سامانه اندودکاری باید با در نظر گرفتن موارد زیر انجام گیرد:

– جابه‌جایی سازه (به‌طور مثال: نشست ساختمان) به‌دلیل جمع شدگی ناشی از خشک شدن اولیه مصالح پشت‌کار، به ویژه هنگامی است که از مصالح پایه سیمانی و کلسیم‌سیلیکاتی ساخته شده باشد؛

– جمع‌شدگی نسبی بین مصالح پشت‌کار؛
– حرکت رطوبتی ناشی از تر و خشک شدن متوالی مصالح پشت‌کار در طول عمر ساختمان؛
– تغییرشکل حرارتی زیرکوب فلزی و/ یا جمع‌شدگی ناشی از خشک‌شدن ستونک چوبی (وادار چوبی).
چنین ترک‌هایی ممکن است به‌طور معمول در محل‌های دارای تنش‌های زیاد، مانند گوشه‌های مربوط به بازشوها رخ دهد.

٤-٤-١١ جابه‌جایی اندودکاری

اندودهای پایه سیمانی و آهکی هنگام سخت شدن و خشک شدن، جمع می‌شود. در این راستا دستیابی به یک چسبندگی مطلوب حائز اهمیت است. برای به‌حداقل رساندن تنش‌های جمع‌شدگی موارد زیر باید درنظرگرفته شود:
– درنظرگرفتن زمان کافی در هر لایه اندود برای خشک شدن پیش از اجرای لایه بعدی. در برنامه کاری ساختمان باید زمان خشک شدن مشخصی برای اندود در نظر گرفته شود. میزان جابه‌جایی ممکن است با درنظرگرفتن شرایط آب و هوایی، جذب آب مصالح پشت‌کار و مقاومت مخلوط، مختلف باشد؛
– به‌جز اندودهای عایق حرارتی و اندودهای ویژه سبک، اولین لایه اندود باید ضعیف‌تر از مصالح پشت‌کار باشد و هر لایه بعدی نباید مقاوم‌تر از لایه اجرا شده قبلی باشد.
برخی تغییرشکل‌های حرارتی ممکن است در اندودهای اجرا شده روی مصالح پشت‌کار غیرصلب، به‌ویژه روی عایق‌حرارتی رخ دهد.

٤-٥ ارزیابی ترک‌ها

میزان محدود ترک‌ها، تا زمانی‌که به خصوصیات فنی و ظاهری اندود آسیب نرساند، بحرانی درنظرگرفته نمی شود.
چنانچه حفاظت در برابر بارش باران روی مصالح بنایی و/یا پایداری در برابر هوازدگی

اندود و رنگ به دلیل وجود ترک‌ها امکان‌پذیر نباشد، یک نقصیه محسوب می‌شود. در حالت کلی بیشترین عرض مجاز ترک، می تواند مشخص شود، زیرا باید به طور جداگانه و برای هر مورد بسته به نوع اندود، سامانه اندودکاری و مصالح پشت کار، مورد ارزیابی قرار گیرد. چنانچه ترک‌ها در شرایط معمولی (برای مثال در میدان دید عادی) به صورت چشمی و مشخص دیده شوند یک نقص ظاهری درنظرگرفته می‌شود و در این راستا سطح اندود دارای اهمیت خاص از لحاظ بصری/ زیباشناسی است.

٤-٥-١ ترک‌های ناشی از مصالح پشت‌کار / ساختمان

انواع ترک‌های مرتبط به و/ یا ناشی از مصالح پشت‌کار/ ساختمان عبارتند از:

الف) ترک‌های منفرد که به‌طور مشخصی در جهت خط مستقیم است (برای مثال در امتداد درزهای مصالح بنایی)؛

ب) ترک‌هایی که بیشتر در جهت عمودی یا افقی است؛

پ) ترک‌هایی که درامتداد مسیر درزها قرار دارد؛

ت) ترک‌های عمودی در کنج‌های مصالح بنایی که در سراسر ضخامت دیوار مشاهده می‌شود؛

ث) ترک‌های مربوط به بازشوهای بنایی که متصل به یکدیگر هستند؛

ج) ترک‌های برشی؛

چ) ترک‌های قطری کنج بازشوها (تک ترک‌هایی که نسبتاً مستقیم هستند).

ترک‌های ناشی از مصالح پشت‌کار/ ساختمان، در مدت زمان شش‌ماه تا پنج سال پس از اجرای اندود ظاهر می شوند (ترک‌های دیرهنگام) و بدین ترتیب به طور قابل توجهی متفاوت از ترک‌های ایجادشده از اجرای اندود است.

ترک‌های برابر یا کم‌تر از ۰/۲ mm مشکل‌ساز نیستند، مشروط برآنکه آسیبی به‌خواص فنی اندود وارد نشود (برای مثال از طریق نفوذ آب).

٤-٥-٢ ترک‌های مویین

ترک‌های مویین از طریق جمع شدگی نسبی سطح اندود دارای شکاف‌های بسیار ریز و با عرض برابر یا کم تر از ۰/۲ mm، ایجاد می شود. این نوع ترک ها در عملکرد انـدود خللی ایجاد نمی‌کند و به طور کلی در زیر سطح اندود گسترش نمی‌یابد.

احتمال دیده شدن ترک‌های مویین در سطوح صاف، بیشتر است.

٤-٥-٣ ترک‌های ناشی از نوع اندود یا اجرا

ترک‌های ارائه شده در زیر به‌ویژه ترک‌هایی هستند که در ارتباط با نوع اندود یا اجرای آن درنظر گرفته می‌شوند:

الف) ترک‌های جمع‌شدگی (برای مثال ترک‌های شبکه‌ای، در حدود یـک سـاعت تـا ٥ ساعت پس از اجرای اندود رخ می‌دهد)؛

ب) ترک‌های مویی در اندود رنگی معدنی (ترک‌های بسیار کوتـاه کـه فقـط در سـطح اندود وجود دارد، در طول فاز سخت شدن/ فرآیند چسبندگی، رخ می‌دهد)؛

پ) ترک‌های جمع‌شدگی (شبکه‌ای یا "Y شکل" تا ٦ مـاه پـس از اجـرای انـدود رخ می‌دهد)؛

ت) ترک‌های کاوی‌شکل (ترک‌های افقی به‌طول ۱۰cm تا ۲۰cm، که حالت مقعر دارد و در حدود ۲ساعت اول پس از اجرای اندود رخ می‌دهد).

٤-٥- ٤ روش‌های کاهش ترک‌خوردگی

برای به‌حداقل رساندن جابه‌جایی مصالح پشت‌کار و درنتیجه آن ترک‌خـوردگی انـدود، طراحی باید با توجه به‌موارد زیر انجام شود:

- بـا توجـه بـه شـرایط آب و هـوایی و در صـورت نیـاز خشـک نگـه‌داشـتن مـواد تشکیل‌دهنده مصالح پشت‌کار؛
- در نظر گرفتن زمان کافی بین ساخت مصالح پشت‌کار و اجرای اندودکاری.

برای مصالح پشت‌کار با پایداری کم، احتیاط‌های بیشتری باید درنظرگرفته شود.

٤-٥-٥ درزها

یک درز راست در اندودکاری باید منطبق با درز مصالح پشت‌کار ایجاد شود و دارای آزادی حرکت مشابه با مصالح پشت‌کار باشد. درز ممکن است از طریق اندودکاری تا بالای نبشی فلزی انتهایی مربوط یا نبشی‌های با یک قطعه میانی قابل انعطاف (برای مثال نبشی‌های جابه‌جایی) و غیره ایجاد شود. برای پرکردن هرگونه شکاف بین نبشی‌ها، باید از یک ماده درزبند مناسب استفاده شود.

زیرکوب فلزی اندودشده، در معرض تغییرشکل ناشی از تغییرات دمایی یا رطوبتی قرار می‌گیرد. برای محدودکردن ایجاد ترک، مساحت‌های پیوسته بزرگ اندودکاری روی زیرکوب فلزی باید به فواصل معینی تقسیم شود.

٤-٥-٦ مصالح پشت‌کار گوناگون که سبب جابه‌جایی ناهمسان می شوند

هنگامی‌که اندودکاری روی مصالح پشت‌کار با مواد و مصالح گوناگون انجام می‌شود، امکان جابه‌جایی ناهمسان در محل اتصال آنها باید درنظرگرفته شود. هر گونه جابه‌جایی پیش‌بینی شده باید با ایجاد یک درز مستقیم در میان اندودکاری، درست در خط تغییر مصالح پشت‌کار همساز شود.

چنانچه امکان جابه‌جایی ناهمسان وجود ندارد و فرض می‌شود که نیازی به‌ایجاد یک درز در اندودکاری نیست، برای به‌حداقل رساندن تأثیر هرگونه جابه‌جایی مصالح پشت‌کار روی اندودکاری باید تمهیداتی به یکی از سه روش زیر درنظر گرفته شود:

الف) قراردادن یک توری الیاف معدنی مقاوم در برابر قلیایی در زیرلایه؛

ب) پس از اجرای زیرلایه، قراردادن یک توری الیاف معدنی مقاوم در برابر قلیایی در داخل یک لایه نازک ملات (لایه مسلح کننده)؛

پ) هنگامی که درز مستقیم بین مصالح مختلف ایجاد می شود، می‌توان جداسازی را با فراهم کردن یک نوار زیرکوب فلزی با عرض حداقل ۳۰۰ میلی‌متر با یک پوشش عایق‌کاری شده در پشت آن، در امتداد محل اتصال با زیرکوب قرار گرفته در زیرلایه اندودکاری یا با استفاده از یک زیرکوب اندودشده، انجام داد.

٤-٥-٧ جابه‌جایی مصالح پشت کار

اقدامات لازم به‌منظور به‌حداقل رساندن ترک‌خوردگی در مصالح پشت‌کاری که ممکن است جابه‌جا شود مانند آجرکاری با آجرهای مختلف یا روی مصالح عایق‌کاری، در جدول ٤-١، ارائه شده است.

٤-٦ ملاحظات حرارتی

اکثر انواع اندود تأثیر کمی روی انتقال حرارت کلی دیوار معمولی بیرونی دارد. این تأثیر کم به دلیل قابلیت هدایت حرارتی نسبتاً زیاد مصالح اندودکاری است که فقط در لایه نازکی اجرا می‌شود. با چنین اندودکاری می‌توان مصالح پشت‌کار سبک را خشک نگه‌داشت و از این‌رو قابلیت هدایت کم آن را حفظ کرد.

باوجوداین، اندودها و سامانه‌های اندودکاری عایق حرارتی دارای قابلیت هدایت حرارتی کمتر یا مساوی W/m.K ۰/۲ است. این نوع اندودها به‌ویژه برای بهبود عایق حرارتی مصالح پشت‌کار از طریق ایجاد مقاومت حرارتی معین، طراحی می‌شوند. این نوع اندودها در سامانه‌های خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد و ضخامت لایه‌های آن بیشتر از اندودهای معمولی است.

اندودهای عایق حرارتی باید به‌گونه‌ای طراحی شود که هرگونه انتقال حرارت را از طریق پل‌های حرارتی به‌حداقل برساند.

٤-٧ ایجاد حفاظت از طریق جنبه‌های معماری و عملکردی

جزئیات جنبه‌های معماری می‌تواند روی ظاهر و دوام یک اندودکاری تأثیرگذار باشد و در این خصوص باید ملاحظات دقیقی برای طراحی آن‌ها به‌ویژه منحرف کردن مسیر رطوبت از سطح اندود ارائه شود.

٤-٧-١ جان‌پناه و دیوارهای تیغه‌ای

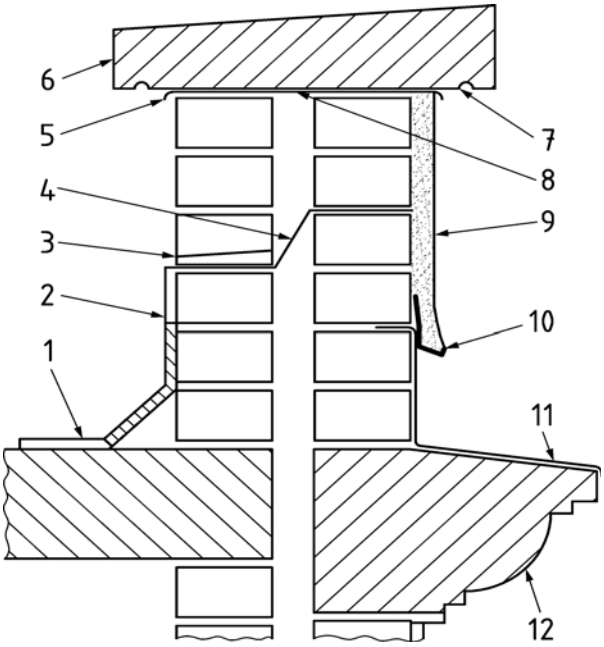
جان‌پناه و دیوارهای تیغه‌ای باید برای جلوگیری از ایجاد مشکلات ناشی از نفوذ باران به‌دقت طراحی شود. به‌ویژه، اندودکاری نباید به‌عنوان یک نما برای سطوح افقی رویاروی با شرایط جوی مورد استفاده قرار گیرد. از اجرای اندودکاری روی بخش بالایی دیوار حتی درصورت تامین یک شیب قابل ملاحظه برای مقابله با هوازدگی، باید پرهیز شود. دیوارها باید از طریق سرپوش با استفاده از یک لایه مصالح رطوبت‌بند در زیر آن، محافظت شود (شکل ٤-١). سرپوش باید همیشه از اطراف سطح اندودکاری بیرون‌زده و برای خروج آب به‌شکل آبچکان یا شیارآب‌چکان باشد.

٤-٧-٢ پیش‌آمدگی‌های لبه و زیرنماهای بام

در رابطه با استفاده از پیش‌آمدگی لبه و زیرنمای سرپوش به‌ویژه برای مناطقی که در معرض شرایط آب و هوایی شدید قراردارد، باید ملاحظاتی درنظرگرفته شود.
لبه‌های بالایی سطح اندود شده باید محافظت شود.

٤-٧-٣ هره و موارد مشابه

هنگامی‌که جزئیات اندودکاری به‌درستی طراحی شده باشد، از هره و موارد مشابه می‌توان برای محافظت اندودکاری استفاده کرد. به‌منظور خروج آب از دیوار، سطح بالای پیش‌آمدگی‌ها باید همیشه شیب‌دار یا در داخل آن به‌طور مناسبی آب‌رو، تعبیه شود. هره و موارد مشابه باید از طریق آبچکان‌ها یا پرداخت مناسب محافظت شود، درصورتی‌که شیب هره کم عمق باشد یا در داخل اندودکاری قرارداده شود، چنین حفاظتی اساسی است. کلیه برآمدگی‌ها باید دارای آبچکان یا شیارآب‌چکان بر روی سطح پایینی باشد (شکل ٤-١). برای پرکردن هرگونه درز باید از یک ماده درزگیر مناسب استفاده شود.



راهنما:

۱- رویه بام

۲- آبچکان

۳- سوراخ رطوبت

٤- مصالح رطوبت بند

٥- مصالح رطوبت بند

٦- سرواره (سرپوش)

۷- آبچکان در اندودکاری، حداقل ٤٠ mm

۸- قالب زیر سرپوش

۹- اندودکاری

۱۰- نبشی شیار آبچکان (از جنس فولاد زنگ نزن)

۱۱- آبچکان

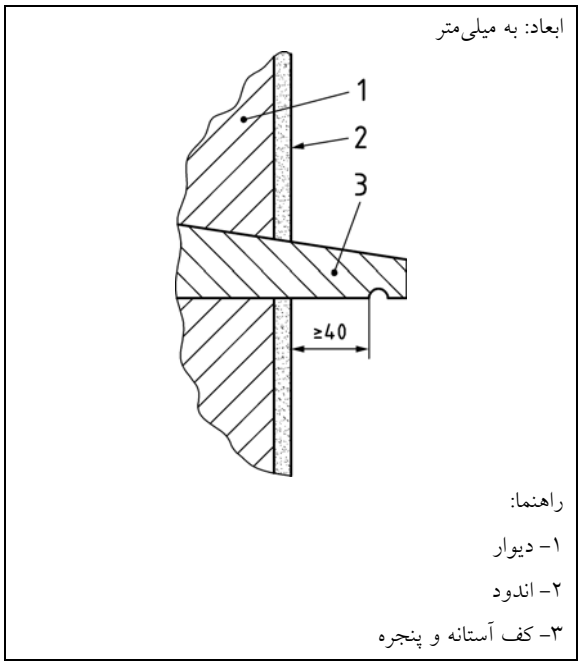
۱۲- هره

شکل ٤-۱ نمونه‌ای از جان‌پناه و هره

مصالح رطوبت‌بند نشان داده شده در شکل صرفاً یک تصویر است و ممکن است براساس الزامات ملی، متفاوت باشد.

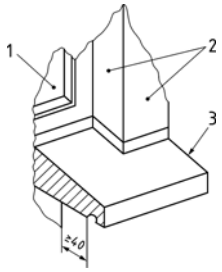
٤-٧-٤ کف آستانه و کف پنجره

کف آستانه و پنجره (شکل‌های ٤-٢ تا ٤-٤) باید از موادی ساخته شود که نفوذپذیری آب آن کم، از اطراف سطح اندودکاری بیرون‌زده باشد و تا خط کناری در و پنجره امتداد یابد (شکل ٤-٢). کف آستانه و پنجره باید دارای آبچکان یا شیارآب‌چکان مناسب در بخش پایینی باشد و نباید در فاصله کمتر از ٤٠ میلی‌متری از سطح دیوار قرار گیرد و طراحی آن باید براساس جلوگیری از عبور آب به‌داخل دیوار یا به‌داخل چارچوب در و پنجره انجام شود. در مورد نماهایی که در معرض شرایط آب و هوایی شدید قرار دارند، لازم است هرگونه شکاف بین قسمت پایین اندودکاری و لبه بالایی کف آستانه و پنجره بسته شود. ساخت کف برای پنجره یا سایر بازشوها با مصالح اندودکاری توصیه نمی‌شود، مگرآنکه از اندود ویژه استفاده شود.



شکل ٤-٢ انواع کف آستانه و پنجره- نمونه‌ای از ابعاد آبچکان در اندود

ابعاد: به میلی‌متر



راهنما:

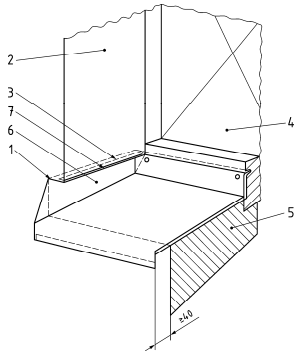
۱- پنجره

۲- دیوار اندود شده

۳- کف آستانه و پنجره

شکل ٤-۳ انواع کف آستانه و پنجره- نمونه‌ای از کف آستانه و پنجره از جنس سنگ یا سنگی پیش‌ساخته یا بتنی

ابعاد: به میلی‌متر



راهنما:

۱- بخش افقی اندود یا شیب به عنوان کف آستانه یا پنجره

۲- دیوار اندود شده

۳- لبه کف آستانه یا پنجره

٤- پنجره

۵- کف آستانه یا پنجره

٦- بخش قائم دیوار

۷- رویه اندود رو به جلوی لبه

شکل ٤-٤ انواع کف آستانه و پنجره- نمونه‌ای از کف آستانه و پنجره از جنس فلز

٤-٧-٥ زیرطاق (رخبام)

هرگونه پیشامدگی‌های نما باید دارای آب‌چکان یا شیارآب‌چکان باشد. بنابراین بلافاصله پس از اتمام اندودکاری در بالای یک بازشو، برای جلوگیری از عبور آب در زیرطاق، باید از نبشی یا سایر وسایل جانبی مناسب استفاده شود. هنگامی‌که اندود روی پیشامدگی پنجره مجاور قاب و کف پنجره انجام می‌شود، تکیه‌گاه باید به‌گونه‌ای طراحی و ساخته شود که حفاظت مناسبی را در مقابل شرایط جوی تامین کند.

٤-٧-٦ لوله‌ها و سایر لوله‌های تاسیساتی

برای به‌حداقل رساندن آسیب‌دیدگی اندودکاری، پیش از شروع اندودکاری باید برای نصب اتصالات مربوط به لوله‌های آب‌باران، فاضلاب، تهویه و غیره، ملاحظاتی درنظر گرفته شود. لوله‌ها باید پس از اندودشدن دیوار نصب شود.

٤-٨ هموارسازی (پرکردن فررفتگی‌ها)

هموارسازی، پرکردن گودی‌های موضعی در مصالح پشت‌کار است و ضخامت آن نباید در ضخامت سامانه اندودکاری در نظر گرفته شود. چنانچه پرکردن فرورفتگی‌ها مورد نیاز باشد، این عمل باید پیش از اجرای اولین زیرلایه به‌نحو مطلوب انجام و برای سخت شدن آن زمان کافی درنظرگرفته شود.

٤-٨-١ زیرلایه

زیرلایه باید بتواند یک سطح صاف مناسبی را برای اجرای لایه نهایی فراهم کند. چنانچه ایجاد سطح صاف به دلیل نامنظمی‌های مصالح پشت‌کار امکان‌پذیر نباشد، دراین‌صورت لازم است زیرلایه تکمیلی اجرا شود.

اثر تغییرات در جذب آب مصالح پشت‌کار و احتمالاً درزهای مصالح بنایی که از میان پوشش نهایی مشخص است، با زیرلایه‌های با ضخامت مناسب به حداقل می‌رسد.

٤-٨-٢ اندودهای با خواص ویژه

ضخامت اندودها برای برآورده کردن الزامات عملکردی دارای خواص ویژه مانند عایق حرارتی، باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که الزامات مورد نظر را تامین کند. درصورت لزوم، این ضخامت‌ها باید در راستای تکمیل الزامات ارائه شده در جدول ٤-١ در زمینه آماده‌سازی باشد.

٤-٨-٢-١ اندودهای سیمانی اصلاح شده با پلیمر

به‌طور معمول، ضخامت پوشش‌های اندودکاری باید براساس ضخامت‌های توصیه شده تولیدکننده، بین ۲ تا ۸ میلی‌متر باشد.

٤-٨-٢-٢ اندود عایق حرارتی

این نوع اندودها همیشه بخشی از یک سامانه اندودکاری و همراه با پوشش نهایی مناسب است. این نوع اندودها معمولاً ضخیم‌تر از اندودهای با کاربرد عمومی اجرا می‌شوند. حداقل ضخامت اندودهای زیرلایه عایق حرارتی باید ۲۰میلی‌متر و حداکثر ۱۰۰میلی‌متر در یک لایه یا لایه‌های بیشتر باشد. میانگین ضخامت پوشش(های) نهایی، شامل یک یا دو لایه پرداخت باید ۱۰میلی‌متر (حداقل ۸ میلی‌متر و حداکثر ۱۵میلی‌متر) باشد، مگرآنکه میانگین ضخامت کمتری مدنظر باشد. برای پوشش‌های نهایی مشتمل بر چند لایه، ضخامت لایه با مواد پرداخت‌کننده نباید کمتر از ٦ میلی‌متر باشد.

٤-٨-٢-٣ اندودهای سبک

به‌طورمعمول، اندودکاری حداقل در دو لایه متشکل از یک زیرلایه و یک پوشش نهایی انجام می‌شود. شایان ذکر است که لایه‌های اندود متوالی باید به‌گونه‌ای باشد که مقاومت اندود رویی کمتر از اندود قبلی یا مصالح پشت‌کار باشد، به جز در مورد اندودهای عایق حرارتی، تگرگی زبر و سبک. در لایه‌های پی در پی اندود، هر لایه رویی نباید ضخیم‌تر از لایه قبلی خود باشد.

در رابطه با حداقل ضخامت لایه اندود در مورد سامانه اندودکاری با استفاده از اندود سبک، توصیه‌هایی در جدول ٤-٢ ارائه شده است.

جدول٤-٢ ضخامت‌های توصیه شده برای انواع سامانه‌های چندلایه روی دیوارهای توپر

پایه چسباننده مربوط به اندود زیرلایه	حد توصیه شده برای اجرای ضخامت اندود(mm) ضخامت سامانه براساس نوع زیرلایه			
	انواع اندود			
	برای کارهای عمومی(GP)		سبک(LW)	
	ضخامت میانگین	حداقل	ضخامت میانگین	حداقل
آهکی	۲۰	۱۵	–	–
مخلوط آهک و سیمان	۲۰	۱۵	۲۰	۱۵
سیمانی	۲۰	۱۵	۲۰	۱۵
سیمان اصلاح شده با پلیمر، آهک و مخلوط آهک و سیمان	۸	۵	۱۰	۷
آلی	۱ تا ۵			

٤-٩ اجرا در محل، آماده‌سازی و کاربرد اندودکاری

نظرات کلی در رابطه با آماده‌سازی و کاربرد اندود در زیر ارائه شده است. هنگامی که در مقررات ملی جزئیات بیشتری وجود دارد، باید براساس آن‌ها عمل شود.

٤-٩-١ انبارکردن مواد و مصالح

آهک، سیمان، سیمان بنایی و مصالح خشک کیسه‌ای (آماده)، باید بالاتر ازسطح زمین، انبار و از هوازدگی محافظت شود. اندودهای تر آماده مصرف با گیرش کند شده باید در یک محفظه‌ای که مورد تائید تولیدکننده اندود است، نگه‌داری شود. محفظه نگه‌داری اندودهای تر آماده مصرف باید به‌منظور حفاظت در برابر باران و افت میزان آب ناشی از تاثیر نورخورشید و باد پوشانده شود.

در هوای سرد باید شرایط محیطی حفاظت شده فراهم شده تا از یخ نزدن مصالح حساس به یخ‌زدگی جلوگیری شود. اندودها نباید پس از شروع گیرش اولیه مورد استفاده قرار گیرند.

زیرکوب فلزی و نبشی‌ها باید زیر یک پوشینه و بالاتر از سطح زمین و دور از سطوح مرطوب انبار شوند.

٤-۹-۲ داربست

درصورت نصب داربست روی یک دیوار، باید توجه شود که ممکن است اختلاف رنگ و بافت ناشی از سوراخ‌های پرشده، مشاهده شود.

درصورت امکان و مجاز بودن براساس مقررات ملی، داربست مستقل (نباید روی مصالح بنایی اندودشده، نصب شود) باید مورد استفاده قرار گیرد. این عمل سبب جلوگیری از لزوم اصلاح سوراخ‌های داربست و سایر نواقص می‌شود. داربست باید پایدار و ایمن باشد. در این خصوص در استاندارد EN 12811-1 توصیه‌هایی ارائه شده است [۳۳].

فاصله و ارتفاع (حداقل ۲۰ سانتی‌متر تا ۳۰ سانتی‌متر فاصله بین داربست و سطح اندود شده)، باید به‌اندازه‌ای باشد که امکان اجرای پوشش نهایی را به‌طور رضایت‌بخشی فراهم کند.

٤-۹-۳ حفاظت از سطوح مجاور

در طول اجرای اندودکاری، سطوح مجاور و اتصالات که احتمال آسیب‌دیدگی آن‌ها وجود دارد باید محافظت شود.

٤-۹-٤ آماده‌سازی مصالح پشت‌کار

مصالح پشت‌کار مورد اندودکاری باید از لحاظ آلودگی، خرابی، زبری سطح، میزان جذب آب و مقاومت مورد امتحان قرار گیرد. گردوخاک و آلودگی باقی‌مانده از روغن‌های قالب بتن، گچ ساختمانی، رنگ، سایر پوشش‌ها، رشد قارچ، نمک‌ها و شوره‌زدگی باید پیش‌از اندودکاری زدوده شود. نمک‌ها و شوره‌زدگی باید با استفاده از یک برس خشک (با موی غیرفلزی)، زدوده شود. چنانچه امکان زدودن هرگونه آلودگی میسر نشد، اقدامات احتیاطی ویژه دیگری باید درنظر گرفته شود.

به‌منظور اجرای اندود با ضخامت یکنواخت یا لزوم پرکردن تورفتگی‌ها و نـامنظمی‌هـا، همباد و تخت بودن مصالح پشت‌کار باید مورد ارزیابی قرار گیرد (جدول ٤-٢).
هنگام اندودکاری، مصالح پشت‌کار باید خشک و بدون یخ‌زدگی بـا دمـای حـداقل ٥+ درجه‌سلسیوس باشد یا باید مطابق توصیه‌های تولیدکننده عمل شود.
توصیه تولیدکنندگان اندود در مورد اقدامات احتیاطی که نیاز به دمای زیاد و یا شـرایط دیگری که منجر به خشک شدن سریع می شود مانند استفاده از جریان هوای تند، بایـد درنظرگرفته شود.
چنانچه مصالح پشت‌کار دارای جذب آب خیلی زیاد، کم یا غیریکنواخت باشد، استفاده از یک آماده‌سازی، زیرکوب فلزی یا اندود آماده ویژه باید به‌عنـوان بخشـی از طراحـی درنظرگرفته شود. برای انواع مصالح پشت‌کاری که احتمالاً نیاز به این عمل‌آوری ویـژه دارند، توصیه‌هایی در جدول ٤-١ ارائه شده است.
هنگام اندودکاری، خیس نبودن دیوار حائز اهمیت است. دیوارهایی که به‌تازگی در معرض باران شدید قرار گرفته‌اند، پیش از اجرای اندودکاری باید به‌قدر کافی خشک شوند.
پیش از اجرای پوشش نهایی، بسته به نوع و شرایط مصالح پشـت‌کـار و ترکیـب مـواد پوشش نهایی، ممکن است نیاز به یک پرایمر باشد.

٤-٩-٤-١ پاک‌سازی و آماده‌سازی

پیش از اجرای اندود، ممکن است به پاک‌سازی‌های مشخصـی نیـاز باشـد تـا از زدوده شدن مواد و عناصر آسیب‌رسان اطمینان حاصل شود. این عمل را می توان با استفاده از شیوه‌های مکانیکی مانند برس‌زنی، شستشو با آب با فشار زیاد، ماسه‌پاشی و غیره انجام داد.
سطوح صاف و متراکم را می‌توان با به‌کارگیری مواد چسباننده معدنی، پرایمر یا مـلات پاششی تگرگی فراهم کرد. هنگامی که میزان جـذب آب کـم اسـت از مـلات پاششـی تگرگی نمی‌توان استفاده کرد. چنین آماده‌سازی‌هایی ممکن است بـرای کـاهش جـذب آب مصالح پشت‌کار با جذب آب زیاد، مورد استفاده قرار گیرد. همچنین بـرای کـاهش

جذب آب پیش از اجرای اندود، ممکن است نیاز به پیش‌خیس‌کردن باشد. در صورت استفاده از اندودهای آماده، نیازی به استفاده از آماده‌سازی روی مصالح پشت‌کار زبر و با جذب آب زیاد نیست. هنگام درنظرگرفتن تعداد لایه‌های اندود در کل سامانه اندودکاری، آماده‌سازی نباید به‌عنوان یک لایه درنظرگرفته شود.

همچنین آماده‌سازی مصالح پشت‌کار ممکن است شامل استفاده از مسلح‌کننده برای اندود اجراشده روی مصالح پشت‌کار مختلط، مصالح پشت‌کار ناپایدار، تخته‌های عایق و غیره باشد.

٤-٩-٤-٢ اندودهای ویژه با استفاده از مواد چسباننده

چسبندگی به سطوح بتنی یا آجرکاری صاف یا تخته‌های پشم چوب را می‌توان با استفاده از اندودهای معدنی ویژه بهبود بخشید.

٤-٩-٤-٣ آماده‌سازی روی مصالح عایق‌کاری

در این خصوص توصیه‌هایی در جدول ٤-١ ارائه شده است.

٤-٩-٤-٤ زیرکوبی

هنگام انتخاب نوع و رده زیرکوب فلزی مورد استفاده، باید شرایط رویارویی درنظر گرفته شود. برای شرایط رویارویی شدید فقط باید از مصالح مقاوم‌تر در برابر خوردگی استفاده شود.

مرکزهای تکیه‌گاه و اتصالات باید با توجه به نوع و رده زیرکوب و وزن اندود مورداجرا انتخاب، به‌گونه‌ای‌که زیرکوب به‌طور محکم نگه‌داشته شود. فلز منبسط‌شده باید در جهت بُعد بلند توری در زوایای قائم، نسبت به تکیه‌گاه نصب شود. چنان‌چه مرکز به مرکز اتصالات بیش از ۳۵۰ میلی‌متر باشد، سختی زیرکوب باید افزایش یابد یا با اضافه کردن یک تیر (گوه‌ای شکل) اصلاح شود. توری فلزی منبسط‌شده (رابیتس) و برخی توری سیمی جوشی دارای سختی بیشتری هستند و فاصله‌گذاری تکیه‌گاه‌ها را می‌توان تا ٦٠٠ میلی‌متر و یا بیشتر از آن برای زیرکوب فلزی ویژه درنظر گرفت.

برای روش‌های اتصال، همپوشانی، بستن اطراف و انتهای زیرکوب فلزی و اطراف

بازشوها، باید ملاحظاتی درنظرگرفته شود. اتصالات باید با توجه به وزنی که تحمل می‌کند دارای اندازه مناسب و به‌تعداد زیاد باشد و سر اتصالات باید به اندازه‌ای باشد که از کشیدگی آنها به‌داخل جلوگیری به‌عمل آید. هنگام اتصال زیرکوب فلزی در سازه‌های قاب‌بندی‌شده ممکن است نیاز به فراهم‌سازی تکیه‌گاه‌های تکمیلی باشد. هنگام اتصال زیرکوب فلزی در مصالح پشت‌کار توپر، باید بین زیرکوب و مصالح پشت‌کار فاصله درنظر گرفته شود. در همه موارد، توصیه‌های تولیدکننده باید در نظر گرفته شود.

درزهای حرکت باید در فواصل مناسب فراهم شود. این درزها باید منطبق با درزهای حرکت سازه باشد و امکان همان میزان از حرکت را میسر سازد.

هنگام اندودکاری روی زیرکوب فلزی متصل شده به الوار چوبی یا ساختمان قاب‌بندی‌شده فولادی، برای کنترل ترک باید تمهیدات ویژه‌ای درنظر گرفته شود.

٤-٩-٤-٥ مسلح‌کننده

توری غیرفلزی مورد استفاده در مسلح کردن اندود باید در برابر قلیایی‌ها مقاوم باشد. پایداری در برابر پاره‌شدگی تار و پود زیرکوب غیرفلزی نباید کم‌تر از ۱/۵ kN در هر ۵ cm باشد. توری غیرفلزی مورد استفاده در مصالح پشت‌کاری که امکان ترک‌خوردگی یا حرکت در آن‌ها وجود دارد باید حداقل ۲۰۰ میلی‌متر با مصالح پشت‌کار مجاور، هم‌پوشانی داشته باشد.

هنگام انتخاب توری فلزی مورد استفاده، نوع و درجه آن باید با توجه به‌شرایط رویارویی درنظرگرفته شود.

توری فلزی و غیر فلزی باید در نیمه بیرونی زیرلایه مورد استفاده قرار گیرد.

٤-٩-٤-٦ زیرکوبی روی ساختمان قاب چوبی

پیش از اتصال زیرکوب، ستون باید با یک پوشینه تنفس‌کننده عایق رطوبتی پوشانده شود. مجزا کردن اتصال زیرکوب از قاب چوبی به‌منظور به‌حداقل رساندن انتقال هرگونه حرکت از قاب به زیرکوب الزامی است.

٤-۹-٤-۷ روش‌های ویژه اندودکاری با استفاده از اندودهای آماده، روی عایق‌حرارتی یا مصالح پشت‌کار با امکان جابه‌جایی

در مصالح پشت‌کاری که امکان جابه‌جایی در آن‌ها وجود دارد، باید از مسلح‌کننده استفاده شود، به‌عنوان مثال در همه کنج‌های مربوط به بازشوها یا در محل اتصال مصالح غیرمشابه.

یکی از روش‌های الف، ب یا پ ارائه شده در زیر را می‌توان برای تخته‌های عایق (مانند تخته‌های پلی‌استایرن سخت) و مصالح پشت‌کاری که امکان جابه‌جایی در آن‌ها وجود دارد، مورد استفاده قرار داد.

روش الف:

-کاربرد اندود پایه سیمان اصلاح شده با پلیمر با استفاده از مواد چسباننده (مواد چسباننده فقط در مورد تخته‌های پلی‌استایرن مورد نیاز است)، حداقل زمان خشک‌شدن این نوع اندودها، یک تا سه روز بسته به شرایط آب و هوایی است؛

-کاربرد اندود زیرلایه سبک (نوع LW) با حداقل ضخامت ۱۵ میلی‌متر؛

-کاربرد توری غیرفلزی در نیمه بیرونی زیرلایه؛

-کاربرد پوشش نهایی.

روش ب:

- کاربرد اندودهای پایه سیمان اصلاح شده با پلیمر با استفاده از مواد چسباننده (مواد چسباننده فقط درمورد تخته‌های پلی‌استایرن مورد نیاز است)، حداقل زمان خشک‌شدن این نوع اندودها، یک تا سه روز بسته به شرایط آب و هوایی است؛

-کاربرد اندود زیرلایه سبک (نوع LW) با حداقل ضخامت ۱۵ میلی‌متر؛

-کاربرد اندود با ضخامت ٤ میلی‌متر تا ٦ میلی‌متر با استفاده از کارگذاری توری الیاف شیشه‌ای به‌عنوان مسلح‌کننده؛

-کاربرد اندود نهایی.

روش پ:

-کاربرد اندودهای پایه سیمان اصلاح شده با پلیمر با استفاده از مواد چسباننده (مواد چسباننده فقط در مورد تخته‌های پلی‌استایرن مورد نیاز است)، حداقل زمان خشک‌شدن

این نوع اندودها، یک تا سه روز بسته به شرایط آب و هوایی است؛
– نصب مسلح‌کننده توری سیمی؛
–کاربرد اندود زیرلایه سبک (نوع LW) با حداقل ضخامت ۱۵ میلی‌متر؛
–کاربرد اندود نهایی.

٤-١٠ کاربرد اندودهای مختلف

تا پیش از آماده‌شدن کامل مصالح پشت‌کار و مناسب شدن شرایط آب و هوایی، اندودکاری نباید شروع شود (بند ٤-٩-٤) زیرا سبب یخ زدگی مصالح می شود. اندودکاری باید فقط زمانی اجرا شود که سطح مصالح پشت‌کار و هوای مجاور دیوار ۵ درجه‌سلسیوس و بیشتر باشد. اندودکاری نباید روی دیواری که به تازگی در معرض باران به‌مدت چند ساعت قرار گرفته است، اجرا شود. اندودکاری باید در طول شرایط آب و هوایی شدید یا در طی زمان یخبندان متوقف شود. چنانچه احتمالاً دما پیش از آن‌که اندود سخت شود، کاهش یابد، لازم است که اندودکاری هرچه زودتر متوقف شود.

پوشش‌ها باید به‌گونه‌ای اجرا شود که تماس با مصالح پشت‌کار در بیشترین حد باشد. تعداد و ضخامت پوشش‌ها باید براساس موارد مشخص‌شده (جدول ٤-٢)، اجرا شود. درصورت نیاز، اندودکاری تازه اجرا شده باید در طول دوره سخت شدن اولیه، در برابر باران شدید حفاظت شود.

٤-١٠-١ عمل‌آوری

لازم است که از خشک شدن سریع سطحی که به تازگی اندود شده است، جلوگیری به‌عمل آید. حفاظت از نور خورشید و باد، یا پاشیدن آب در سطح اندودکاری در آب و هوا و شرایط اقلیمی گرم و خشک ضروری است. برای هر لایه اندود، پیش از اجرای لایه بعدی باید زمان لازم درنظر گرفته تا به‌قدر کافی جمع و خشک شود.

٤-١٠-٢ روش اجرای اندودکاری با استفاده از دستگاه یا دست

الف) هموارسازی (پرکردن فرورفتگی‌ها):

اندود مورد استفاده برای پرکردن فرورفتگی‌ها باید مشابه مخلوط مورد استفاده برای اولین زیرلایه باشد.

به‌منظور کاهش تنش‌های ناشی از جمع‌شدگی و بهبود چسبندگی برای لایه‌های بعدی، توجه ویژه به سطح اندودکاری حائز اهمیت است. در شرایطی که خشک‌شدن به‌سرعت صورت می‌گیرد لازم است سطح اندود پیش از خشک شدن مرطوب شود. چنانچه هموارسازی بیشتری برای فرورفتگی‌ها پیش از اجرای زیرلایه با ضخامت یکنواخت مورد نیاز باشد، در این‌صورت لازم است که تکیه‌گاه تکمیلی برای این لایه فراهم شود.

ب) زیرلایه(ها): به‌منظور دستیابی به یک سطح صاف، زیرلایه(ها) باید اجرا شود. پس از آن‌که زیرلایه به‌قدرکافی سفت شد، سطح آن باید به‌طور مناسبی خراشیده تا چسبندگی مطلوبی برای لایه بعدی فراهم شود.

روش‌های برخورد با مصالح پشت‌کار با جذب آب زیاد، در بند ٤-۹-٤-۱ ارائه شده است. با استفاده از مواد نگه‌دارنده آب در مخلوط، می‌توان میزان جذب را کاهش داد.

پ) پوشش نهایی: به‌طورکلی، در استاندارد EN13914-1 هیچ‌گونه توصیه‌ای برای حداقل فاصله زمانی بین تکمیل زیرلایه و اجرای پوشش نهایی ارائه نشده است.

در مورد پرداخت‌های تگرگی و با نقش مشخص، پوشش نهایی باید برای مدت طولانی‌تری نسبت به پرداخت معمولی به صورت نرم باقی بماند. این عمل به کاهش جذب آب زیرلایه از طریق مرطوب کردن بیشتر یا با افزودنی نگه‌دارنده آب در اندود پوشش نهایی کمک می‌کند.

در روش جایگزین، استفاده از مقدار کمی افزودنی آب‌بند در مخلوط زیرلایه فقط برای مخلوط‌های کارگاهی امکان‌پذیر است، اما استفاده بیش از اندازه آن سبب کم شدن چسبندگی می‌شود.

اجرای پوشش نهایی باید از پایین‌ترین بخش شروع شود. در این راستا از محل قرارگیری درزهای اندودکاری در نوبت‌های کاری روزانه باید مراقبت شود.

از پرداخت بیش از حد که سبب رو زدن شیرابه اندود در سطح می‌شود، باید اجتناب شود. همچنین از خشک شدن سریع اندود نهایی، باید جلوگیری به عمل آید.

٤-١٠-٣ اندودهای عایق حرارتی

برای اطمینان از چسبندگی مطلوب اندودهای عایق حرارتی به مصالح پشت‌کار، به جدول ٤-١ رجوع شود. هنگام استفاده از لایه‌های ضخیم، پیش از اجرای لایه بعدی زمان بیشتری مورد نیاز است.

٤-١٠-٤ اندودهای اصلاح شده

توصیه‌های کلی ارائه شده در بند ٤-١٠ باید مورد عمل قرار گیرد مگر آنکه به‌گونه دیگری باشد.

٤-١١ نگهداری و تعمیر (به غیر از مرمت)

برای نگه‌داری و تعمیر غیر سازه‌ای اندود تازه و قدیمی‌تر باید به‌گونه‌ای عمل شود که اندود و بنای ساختمان از همان مصالح و فناوری‌هایی به‌کار گرفته شده در ساختمان موجود، استفاده شود.

٤-١١-١ بازرسی

ماهیت و وسعت عیب و نقص ایجاد شده، باید از طریق بازرسی دقیق توسط فرد مطلع و مجرب در موضوع مورد نظر، مشخص شود.

تشخیص علت اصلی عیب و نقص ایجاد شده به‌ویژه زمانی‌که ناشی از طراحی نامناسب یا نقص مصالح پشت‌کار باشد، حائز اهمیت است.

٤-١١-٢ تعمیر ترک‌ها

ترک‌های ناپیدا در دیوارهایی که خشک و سالم باقی می‌مانند، باید نادیده گرفته شود.

هرچند که کنده‌کاری و تعمیر با دقت انجام گیرد، همواره سبب برخی تفاوت‌ها در ظاهر سطح مورد تعمیر می‌شود. سطح اندود کنده شده باید براساس ماهیت مصالح پشت‌کار و نوع پرداخت برای کار تازه، تعمیر شود.

٤-١١-٢-١ ترک‌ها فقط در اندودکاری

هنگامی‌که ترک‌های بسیار ریز فقط در اندودکاری وجود دارد و ظاهر آن سالم به‌نظر می‌رسد، می‌توان به‌روش‌های زیر ترک‌ها را ترمیم کرد:

- پوشش‌دادن همه اندود پرداخت شده با رنگ؛
- پوشش‌دادن با یک اندود یا سایر عملیات تزئینی؛
- کاربرد یک سامانه اندود متشکل از لایه‌های نازکی از اندود مسلح شده از طریق توری‌گذاری؛

ترک‌های منفرد پهن‌تر را که به داخل مصالح پشت‌کار نفوذ نمی‌کند و در کاهش چسبندگی به مصالح پشت‌کار نقش ندارد، می‌توان با شناسایی و کمی عریض کردن آن‌ها و سپس پر کردن شکاف، ترمیم کرد.

٤-١١-٢-٢ ترک‌های مربوط به اندودکاری و مصالح پشت‌کار

هنگامی‌که ترک‌ها نه تنها در اندودکاری بلکه همچنین در مصالح پشت‌کار نفوذ می کند، پیش از اقدام به تعمیر، علت ترک خوردگی باید مشخص و با آن مقابله شود. در این راستا ابتدا باید مصالح پشت‌کار تعمیر شود. چنانچه امکان تعمیر مصالح پشت‌کار به‌طور کامل و موثر وجود نداشته باشد، اندود دو طرف ترک باید برداشته شود. سپس اندود تازه باید از مصالح پشت‌کار مجزا شده و/ یا مسلح شود. این روش ممکن است به طور کامل از ترک‌خوردگی بعدی جلوگیری نکند ولی باید شدت آن را کاهش دهد.

ترک‌ها در اندودکاری ممکن است در اثر انبساط درزهای ملات در مصالح پشت‌کار که ناشی از عمل یخ‌زدن یا نمک‌های محلول است، ایجاد شود. چنانچه چنین مصالح پشت‌کاری بازسازی نشود، هرگونه اندودکاری مجدد روی آن باید به‌طور مجزا روی زیرکوب فلزی بالای یک پوشش تنفس‌کننده نگهداری شود.

در مورد ترک‌های ایجاد شده در محل اتصال مصالح غیرمشابه، یعنی روی مصالح پشت‌کار مختلط، باید مطابق بند ٤-٥-٦ عمل شود.

٤-١١-٣ تعمیر مناطق توخالی و جداشده

ضعف در چسبندگی ممکن است به‌دلایل مختلف رخ دهد و علت آن باید پیش از تعمیر مشخص شود.

٤-١١-٣-١ ضعف در اندود پرداخت شده

هنگامی‌که دلایل ضعف مشخص شد، قطعات اندود آسیب‌دیده باید تا سطح مصالح پشت‌کار برداشته شود. لبه‌های نمایان اندودکاری باید کمی از زیر بریده شود. سطح نمایان مصالح پشت‌کار باید آماده سازی و اندود جدید جایگزین شود.

سهم‌بندی مخلوط، رنگ و بافت اندودکاری تازه باید تا جای ممکن با کار موجود همسان باشد. ماسه مورد مصرف در مخلوط اندودهای کارگاهی باید به دقت انتخاب شود. توصیه می‌شود اندودکاری جدید روی پانل‌های آزمایشی کوچکی اجرا شود ومقایسه و تصمیم‌گیری برای مخلوط مناسب، پس از خشک شدن کامل آن‌ها، انجام شود.

٤-١١-٣-٢ مصالح پشت‌کار بنایی پوسته شده

مصالح سست و پوسته‌شده باید تا رسیدن به یک سطح محکم برداشته شود. مصالح برداشته شده باید با آجرها یا بلوک‌های جدید جایگزین شود یا با لایه‌های اندود اصلاح شود. هر لایه اندود باید با یک ضخامت مناسب اجرا و به طور کامل چسبانده شود به‌گونه‌ای که نشست نکند و پیش از اجرای لایه بعدی خشک شود. هنگامی که حفره موجود همسطح با مصالح پشت‌کار پر شد، اندودکاری باید براساس بند ٤-١١-٣-١ ترمیم شود.

٤-١١-٤ اصلاح ظاهر غیرمطلوب

اصلاح ظاهر اندودکاری به‌دلیل رنگ‌رفتگی، لکه یا چرک شدن یا به‌دلایل دیگر معماری، حائز اهمیت است. این عمل به‌طور معمول با تمیزکاری، رنگ زدن یا اجرای

لایه‌های بیشتر اندودکاری صورت می‌گیرد. پیش از اجرای هر لایه جدید، کلیه ترک‌ها و نقائص باید تعمیر و سطح مورد اندودکاری به‌طور مناسبی آماده‌سازی شود.

٤-١١-٤-١ تمیزکاری

اندودهای پرداخت شده باید با استفاده از برس زنی خشک یا شستشو با آب پرفشار از طریق افشانک یک دستگاه یا روش‌های مناسب دیگر تمیز شود. پیش از تمیزکاری هرگونه قارچ، جلبک و غیره باید زدوده شود. سپس می‌توان ترمیم مناسب را انجام داد. شوره‌زدگی روی اندودکاری قدیمی‌تر باید با روش‌های خشک برداشته شود.

٤-١١-٤-٢ ترمیم با رنگ

اندودکاری بیرونی باید با انواع رنگ نفوذپذیرتر، رنگ شود.

٤-١١-٤-٣ پوشش‌های اندودکاری تکمیلی

در ارزیابی شرایط سطح اندود موجود پیش از اجرای اندودکاری با پوشش تکمیلی، باید دقت شود که این عمل به‌صورت صحیح انجام شود. کار موجود باید دارای چسبندگی رضایت‌بخشی روی همه مناطق درگیر باشد.

اندودهای اصلاح شده با خواص چسبندگی بهبود یافته را می‌توان مورد استفاده قرار داد.

٤-١١-٥ مقابله با نفوذ آب

هنگامی‌که نفوذ آب به‌دلیل وجود ترک باشد، باید مطابق موارد توصیه شده در بند ٤-١١-٢ عمل شود. هنگامی‌که نفوذ آب ناشی از طراحی ناقص یا خرابی باشد (بندهای ٤-٤-٢ و ٤-٤-٣)، در این صورت باید اصلاح شود. چنانچه نفوذ آب به هر یک از علل بالا نباشد، اصلاح سطح باید انجام شود.

مراجع

1- Mortars for Masonry and Rendering Choice and Application by Kenneth Sandin, Volume 7. Number 3, Building Issues 1995.

۲- استاندارد ملی ایران شماره ۲-۷۰۶، "ملات بنایی- قسمت ۲: ملات برای کارهای بنایی- ویژگی‌ها"، سازمان ملی استاندارد ایران، سال ۱۳۹۲.

۳- استاندارد ملی ایران شماره ۱-۷۰۶، "ملات بنایی- قسمت ۱: ملات اندودکاری بیرونی و داخلی- ویژگی‌ها"، سازمان ملی استاندارد ایران، سال ۱۳۹۲.

4- Mortar industry association Educational Guide to Properties of Rendering Mortar, UK Motar.

5- Technical Data Sheet Article No. 0509, Heat Insulation Render, 2008, UK.

6-Sergiu Neghina, Wall Coatings, Discussion on Rendered Walls, Construction Technology,2010.

۷- استاندارد ملی ایران شماره ۱۲۱۴۹، "مصالح ساختمانی- رنگدانه‌ها برای رنگی کردن مصالح ساختمانی پایه سیمانی و یا آهکی- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون"، سازمان ملی استاندارد ایران، سال ۱۳۸۸.

۸- استاندارد ملی ایران شماره ۲۹۳۱، "سیمان سفید - ویژگی‌ها و معیارهای انطباق"، سازمان ملی استاندارد ایران، سال ۱۳۹۳.

9- ASTM C-332 :2009, Standard Specification for Lightweight Aggregates for Insulating Concrete.

۱۰- امیرمازیار رئیس قاسمی، طیبه پرهیزکار، سعیده صیاد قبادی، ملات خشک آماده، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، شماره ۵۰۲، سال ۱۳۹۰.

۱۱- استاندارد ملی ایران شماره ۱۱-۹۱۵۰، "نمونه‌برداری و آزمایش پوزولان‌های طبیعی یا خاکستر بادی برای مصرف بعنوان یک افزودنی معدنی در بتن سیمان پرتلند ـ روش آزمون"، سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، سال ۱۳۸۲.

۱۲- محمدحسین ماجدی اردکانی، نماسازی در ساختمان‌های مسکونی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، شماره ۳۲۵، چاپ سوم، سال ۱۳۸۳ .

۱۳- محمدحسین ماجدی اردکانی،فاطمه جعفرپور، فهیمه فیروزیار، بررسی برخی اندودهای نمای بیرونی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، شماره ۴۸۴، سال ۱۳۸۷.

۱٤- محمدحسین ماجدی اردکانی، اصول و روش‌های اندودکاری، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، شماره ۲۱۲، سال ۱۳۷٤.

۱۵- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ملات بنایی- روش آزمون – قسمت دوازدهم – تعیین مقاومت چسبندگی ملات‌های اندودکاری بیرونی و داخلی سخت شده به مصالح پشت‌کار، شماره ۱۲-۹۱۵۰ ، سال ۱۳۸٦.

۱٦- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ملات بنایی- روش آزمون – قسمت نوزدهم – تعیین نفوذ بخار آب ملات‌های اندودکاری بیرونی و داخلی سخت شده، شماره ۱۹-۹۱۵۰ ، سال ۱۳۸٦.

17- Fishburn, L. C., Watstein, D., and Parsons, D. E., "Water Permeability of Masonry Walls ", in National Bureau of Standards, BMS Rep.7, 1938.

۱۸- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصالح ساختمانی – فرآورده‌های با مقاومت حرارتی متوسط و زیاد- تعیین مقاومت حرارتی- روش لوح گرم محافظت شده و جریان حرارت سنج، شماره ۸٦۲۱ ، سال ۱۳۸۵.

۱۹- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ملات بنایی- روش آزمون – قسمت دهم – تعیین چگالی انبوهی خشک ملات سخت شده، شماره ۱۰-۹۱۵۰، سال ۱۳۸٦.

۲۰- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ملات بنایی- روش آزمون – قسمت هجدهم – تعیین ضریب جذب آب موئینه ملات سخت شده، شماره ۱۸-۹۱۵۰، سال ۱۳۸٦.

۲۱- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ملات بنایی- روش آزمون – قسمت یازدهم – تعیین مقاومت خمشی و فشاری ملات سخت شده، شماره ۱۱-۹۱۵۰، سال ۱۳۸٦,

22- ASTM C-1363: 2011, Standard Test Method for Thermal Performance of Building Materials and Envelope Assemblies by Means of a Hot Box Apparatus.

۲۳- سایت سازمان بهروری انرژی – سایا، راهنمای انجام ممیزی انرژی سریع در ساختمان، سازمان بهروری انرژی (سایا).

۲٤- سورنا ستاری، بیژن فرهانیه، بررسی ساختار نرم‌افزارهای شبیه‌سازی در ساختمان (BLAST، ENERGY PLUS، BAD)، نشریه انرژی ایران، سال نهم، شماره ۲۱، بهمن ۱۳۸۳ .

۲۵- پرویز حقیقت‌جو، کـاربرد درجـه روز گرمایشـی و سرمایشـی در تعیـین مقـدار انـرژی وسوخت مورد نیاز و قابلیت سکنی‌پذیری مناطق مختلف کشور، دومین همایش بین المللی بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، ۱۳۸۱ .

۲۶- سایت سازمان هواشناسی ایران: http://www.irimet.net

۲۷- مجید سلطانی، حامد یوسفی کیا، بررسی اثر عایق کاری جدار در تغییر هزینه‌هـا و انـرژی مصـرفی سـاختمان، چهـارمین همـایش بـین المللـی بهینـه سـازی مصـرف سـوخت در ساختمان،۱۳۸٤.

۲۸- سید ابوالفضل مسعودیان، بهلول علیجانی، رضا ابراهیمی، واکاوی میانگین مجموع درجه / روز مورد نیاز (گرمایش و سرمایش) در قلمرو ایران، پژوهش‌نامـه جغرافیـایی، شـماره ۱، زمستان ۱۳۹۰، صفحه ۲۳تا ۳٦ .

۲۹ سایت شرکت توزیع نیروی برق تهران بزرگ : http://www.tbtb.co.ir

۳۰- سایت بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران: http://www.cbi.ir

31- EN 13914-1:2016, Design, preparation and application of external rendering and internal plastering - Part 1: External rendering.

32- EN 15824:2009, Specifications for external renders and internal plasters based on organic binders.

33- EN 12811-1:2003, Temporary works equipment - Part 1: Scaffolds - Performance requirements and general design.

Abstract

Generally, mortar is the mixture of a binder, aggregate and suitable additives (if necessary) and mixing water and is divided in two categories (rendering/plastering mortar and masonry mortar). Each of two mortars determined based on their application.

Rendering and plastering mortar serves as a protective shell and act some different functions in building. Rendering and plastering mortar used in the last stage of the construction process and often carry out when the budget for a building come to an end. In this regard, it is important that special attention be applied to minimize the problems relating to the durability.

Nowadays one ways to decrease the energy consumption in construction is the type of designing according to climatic conditions and building materials used in facade.

Decreasing energy consumption and produce energy from renewable source are two principles to achieve the low energy consumption building. So, correct designing for construction caused decreasing energy consumption.

According to data from 1379, the residential energy consumption is more than 40% and highest rate among the other economic sector, so that is highest rate of energy consumption related to natural gas. Comparing the energy consumption of buildings in Iran with the developed countries, shown its difference amount, so it is required some changes in energy consumption politics in constructions.

In this regard, the purpose of this project is to achieve technical knowledge to make a lightweight and thermal insulating mortar, so in this way prevent the mortar imported and save the cost of cooling and heating in building.

In this project, at first the rendering / plastering mortar with different composition were made using a variety of materials. Laboratory studies have done on made rendering / plastering mortars according to national and international standards.

Based on test results, the optimum lightweight and thermal insulating mortars have been selected. Thermal conductivity behavior of this mortar has been investigated on wall system.

Also for this type of mortar, economic assessment was conducted and it was determined return on investment. In this regard, the results are presented in detail in the final report of the project.

Since correct implementation of rendering and plastering requires special technical knowledge, so based on background and exposure conditions, guide of design, preparation and application of external rendering with this renders was described.

Road, Housing and Urban Development Research Center (BHRC)

Lightweight and Thermal Insulating Rendering Mortar

Fahimeh Firoozyar
Fatemeh Jafarpour
M. R. Omidzahir

Consultant:
Dr. B. M.Kari

Research Report
BHRC Publication No. R-805
2018