



بررسی برخی خواص لمینیت‌های فشار زیاد (HPL)

سهراب ویسه^{۱*}، مهسا امیریان^۲

۱. عضو هیأت‌علمی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، تهران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد فناوری معماری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

* تهران، بزرگراه شیخ فضل‌الله نوری، صندوق پستی ۱۶۹۶-۱۳۱۴۵، پست الکترونیکی: veiseh@bhrc.ac.ir

چکیده

ورق‌های لمینیت فشار زیاد (HPL^۱)، متشکل از لایه‌های کاغذ کرافت و رزین فنلی است که در فشار و حرارت زیاد قرار می‌گیرند و در نهایت، توسط کاغذ تزئینی و لایه رزین ملامین پوشانده می‌شوند. صفحات HPL کاربرد وسیعی در زمینه‌های گوناگون از جمله نمای ساختمان، پوشش دیوارهای داخلی و سقف دارد. چگالی کم آن موجب سبک‌سازی و ایمنی بیشتر ساختمان در برابر زلزله (به علت بار مرده کم) می‌گردد که اصلی‌ترین مزیت HPL نسبت به سایر نماهای ساختمانی است. این ورق‌ها به دلیل داشتن خاصیت ارتجاعی، در مقابل فشارهای گوناگون مانند فشار باد عملکرد خوبی نشان می‌دهند. در این پژوهش نتایج به دست آمده از آزمون برخی خواص فیزیکی، شامل: چگالی، مقاومت در برابر رطوبت و جذب آب، مقاومت در برابر ضربه و مقاومت خمشی بر روی دو نوع فرآورده HPL موجود در بازار ارایه شده و مورد بررسی قرار گرفته است. نتیجه آزمون‌ها نشان داد که هر دو نمونه در برابر ضربه مقاومت بالایی دارند و هیچگونه آثار خرابی در آنها پس از آزمون دیده نشد. نتایج آزمون‌ها نشانگر مقاومت خمشی نسبتاً زیاد و مقاومت این ورق‌ها در برابر رطوبت است.

کلیدواژگان

لمینیت فشار زیاد، HPL، مقاومت خمشی، مقاومت در برابر ضربه

An Investigation on Some Properties of High Pressure Laminate (HPL)

Sohrab Veiseh^{1*}, Mahsa Amirian²

1. Scientific Board Member of Road, Housing and Urban Development Research Center, Tehran

2. Master student of Architectural Technology, Shahid Beheshti University, Tehran

* P.O. Box 13145-1696, Sheikh Fazlollah Noori Express way, Tehran, Iran, E-mail: veiseh@bhrc.ac.ir

Abstract

High pressure laminate or HPL consists of kraft paper and phenolic resin placed in high pressure and high temperature and eventually covered with decorative paper and melamine resin layer. HPL is widely used in many applications such as building facades, interior wall coverings and ceilings. Its low density makes the building lighter and safer against earthquake forces (due to low dead load). This is the main advantage of HPL over other facing materials. Due to its elasticity, HPL performs well against various pressures such as wind. In this research, the test results of some physical properties including density, moisture resistance, water absorption, impact resistance and flexural strength on two types of HPLs available in the market are presented and studied. Test results showed that both specimens were highly resistant to impact and no defects were observed after the experiments. The experiments showed relatively high flexural strength and moisture resistance of these sheets.

Keywords

High Pressure Laminate, HPL, Flexural Strength, Impact Resistance

¹ High Pressure Laminate

۱- مقدمه

تحمل می‌کند، اما آنها نباید ساییده یا بسیار قلیایی باشند [۵]. باید از کاربرد محصولات به شدت اسیدی یا بسیار قلیایی خودداری شود، زیرا می‌توانند سطح را لکه‌دار کنند. هنگام استفاده از حلال‌ها، پارچه مورد استفاده باید کاملاً تمیز باشد تا نشانه‌هایی روی سطح HPL باقی نماند. به طور کلی، باید از کاربرد جلا دهنده‌ها و پاک‌کننده‌های مبتنی بر واکس خودداری شود، زیرا آنها تمایل دارند که یک لایه چسبنده روی سطح HPL ایجاد کنند که گرد و خاک به آن می‌چسبد [۱].

پرداخت نهایی براق، مقاومت کمتری در برابر خراش دارد و بنابراین، برای استفاده در میزهای کار مناسب نیست. سطوح با رنگ روشن باعث می‌شود خراش یا ساییدگی و فرسودگی کمتر مورد توجه قرار گیرد، در حالی که انواع با رنگ تیره کمتر تحت تأثیر پیرشدگی ناشی از نور هستند [۱].

نام فنی صفحات HPL لمینیت پلاستیکی^۱ است، زیرا رزین به کار گرفته شده در کاغذ کرافت‌ها به حالت پلاستیک مایع است که به صفحات خاصیت انعطاف‌پذیری خود را می‌دهد [۶ و ۷].

اجزای تشکیل‌دهنده این پنل‌ها عبارت‌اند از:

- ۱) لایه سطحی: لایه تزئینی سطحی لمینیت‌های HPL شامل یک یا چند ورق از مواد با ساختار الیافی (معمولاً کاغذ) یا سطوحی دیگر با طرح و نمای تزئینی مختلف همچون سطوح فلزی، روکش‌های چوبی، پارچه‌ای و غیره هستند که با رزین‌های گرماسخت از جنس آمینوپلاستیک (معمولاً رزین‌های با پایه ملامین) یا رزین‌های دیگر عمل‌آوری می‌شوند. لمینیت‌های HPL می‌توانند از یک وجه یا بر روی دو وجه دارای روکش سطحی تزئینی باشند.
- ۲) مغزه لمینیت‌ها: مغزه یا هسته اصلی این محصول شامل مواد الیافی (معمولاً کاغذ) است که توسط رزین‌های گرماسخت (برپایه رزین‌های پایه فنلی) تحت فشار و حرارت عمل‌آوری می‌شود.

ورق مصنوعی و تزئینی HPL، ورقه‌ای مقاوم و چندکاره که برای پوشش سطوح افقی و قائم به کار می‌رود، اجرا و نگهداری این ورق‌ها آسان است. دوام و مقاومت شیمیایی زیاد و چسبندگی سریع و پایداری رزین‌های مصرفی موجب پیوند ناگسستنی لایه‌های مختلف پنل می‌گردد. ضخامت این نوع پنل می‌تواند ۳، ۵، ۸، ۱۲ میلی‌متر و یا بیشتر باشد، اما جهت استفاده در طراحی نمای خارجی ضخامت‌های ۶ و ۸ میلی‌متر توصیه می‌گردد. همچنین، طول و عرض استاندارد بین‌المللی آن ۳۰۵۰ در ۱۳۰۰ میلی‌متر و ۲۸۰۰ در ۱۳۰۰ میلی‌متر است؛ اما با ابعاد دیگری هم تولید و برخی از آنها به کشور وارد می‌شود [۵].

در حال حاضر، استفاده از ورق‌هایی با ضخامت ۶ تا ۱۰ میلی‌متر برای پوشش‌های داخلی و خارجی ساختمان‌ها معمول است. تنوع بسیار مناسب در طرح و رنگ این ورق‌ها می‌تواند جایگزین مصالح دیگری همچون چوب و ورق‌های کامپوزیت آلومینیوم در طراحی نما باشد.

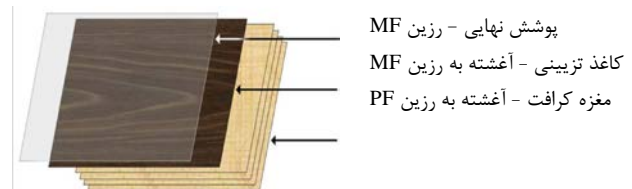
کاربردهای HPL در موارد زیر است:

- نمای ساختمان
- دیوار داخلی
- جداگر
- سقف
- در
- کف
- راه پله

پیدایش HPL به سال ۱۸۹۶ باز می‌گردد. هنگامی که لئو باکلند، شیمیدان آمریکایی برای دست آوردن یک محصول رزینی که بتواند به یک پلیمر نامحلول تبدیل شود، فنل و فرمالدئید را ترکیب کرد. وی با افزودن پرکننده خاک اره ریزدانه به ترکیب بالا، مواد پلاستیکی بسیار تیره رنگی را به دست آورد که در سال ۱۹۰۷ تحت عنوان باکلیت (برگرفته از نام خانوادگی خود) ثبت اختراع کرد. این ماده‌ای بود با خواص مکانیکی عالی، خواص نارسانایی الکتریکی که بلافاصله علاقه صنعت برق را جلب کرد و جایگزین چینی و میکا به عنوان ماده عایق الکتریکی دستگاه‌ها شد. این ماده بعدها در بسیاری از کاربردهای دیگر از عایق صوتی، الکتریکی و حرارتی گرفته تا کشاورزی و از ریسندگی گرفته تا هواپیمایی مورد استفاده قرار گرفت. با این حال، ثابت رنگ ضعیف رزین‌های فنل فرمالدئید طیف گسترده‌ای از رنگ‌ها را امکان‌پذیر نمی‌ساخت. بنابراین لمینیت‌های اولیه فقط به رنگ مشکی یا قهوه‌ای بودند [۱].

قبل از آن در سال ۱۹۰۶، لیبیج تحقیقات خود را در زمینه واکنش‌های ملامین-فرمالدئید متمرکز نمود. او کشف کرد که این رزین‌ها چنانچه با سولز مخلوط شوند و در معرض فرآیند پلیمریزاسیون قرار گیرند، یک ماده جامد با خواص مکانیکی عالی، پایداری در برابر نور و سایش، نارسانایی الکتریکی تولید می‌شود. در دهه‌های بعد تحقیقات، نوآوری و توسعه دانش فنی برای انواع جدید HPL راه را برای کاربردهای بالقوه بی‌شماری در بخش‌های مختلف بازار و تولید طیف گسترده‌ای از انواع فرآورده‌ها باز کرد [۱].

HPL ها مصالح تزئینی چند منظوره‌ای هستند که برای مبلمان، کفپوش و دیوارپوش استفاده می‌شوند که با کاربردهای مختلف در محیط‌های مسکونی، کاری و اماکن عمومی (به عنوان مثال بیمارستان‌ها و مدارس) استفاده می‌شوند. متناسب با نیاز بازار HPL ها از دوام و خواص سطحی خاصی مانند مقاومت در برابر مواد شیمیایی، گرما، لکه و سایش برخوردار هستند. به طور معمول، HPL ها شامل ۵ تا ۵۰ لایه کاغذ کرافت (هسته) اشباع شده با رزین فنل فرمالدئید (PF) است که در حرارت و فشار ۵ مگاپاسکال به هم چسبیده‌اند. یک یا هر دو سطح آن از ورقه‌های تزئینی آغشته به رزین ملامین پوشیده می‌شود. به طور کلی، ۶۰ تا ۷۰ درصد HPL از کاغذ کرافت و ۳۰ تا ۴۰ درصد آن از رزین فنلی و رزین ملامین تشکیل شده است. در واقع، کاغذ کرافت به عنوان قلب و هسته اصلی این صفحات شناخته می‌شود (شکل ۱). عوامل جوی مختلف نباید هیچ تأثیری روی این ورق‌ها داشته باشد و باعث کاهش کیفیت آنها با گذشت زمان شود [۳، ۲ و ۴].



شکل ۱ لایه‌های نمونه‌وار روی هم قرار گرفته HPL [۲]

سطح HPL به نگهداری خاصی نیاز ندارد. اما باید به طور مرتب فقط با یک پارچه مرطوب، با آب گرم یا مواد شوینده ملایم تمیز شود. HPL تقریباً تمام مواد تمیزکننده یا ضد عفونی‌کننده‌های خانگی معمول را به خوبی

^۱ Plastic Laminate

و ... وارد می‌شوند. نمای HPL از جمله نماهایی است که در سال‌های اخیر با رشد تقاضا مواجه شده است [۱۰ و ۱۱].

مقاومت مکانیکی: ترکیب مقاومت خمشی و قابلیت ارتجاعی سبب مقاوم شدن ورقه‌های HPL در برابر ضربه‌های وارده می‌گردد. از این رو در نمای ساختمان، سطوح ورقه‌های HPL در مقابل فشارهای گوناگون از جمله فشار باد از خود واکنش خوبی نشان می‌دهند.

استفاده از ورق‌های تزئینی HPL در صورتی که از کیفیت مطلوبی برخوردار باشند، مزایای مختلفی دارد که عبارت است از:

- دوام و مقاومت شیمیایی زیاد

- چسبندگی پایدار رزین‌های مصرفی در لایه‌های مختلف این ورق‌ها که موجب پیوند ناگسستنی لایه‌های مختلف پنل می‌گردد.

- وزن کم که موجب سبک‌سازی و ایمنی بیشتر ساختمان در برابر زلزله (به علت بار مرده کم) می‌گردد و اصلی‌ترین مزیت HPL نسبت به سایر نماهای ساختمانی است.

- صفحات HPL در برابر ضربه‌های وارده مقاوم هستند.

- در صورت برخورداری از کیفیت مناسب، این ورق‌ها در برابر اشعه UV مقاوم بوده و تغییر رنگ نخواهند داد.

- این ورق‌ها در برابر آتش‌سوزی مقاوم بوده و شعله‌ور نمی‌شوند [۸ تا ۸].

خصوصیات فیزیکی و مکانیکی لمینیت‌ها ممکن است تحت تأثیر نوع، خصوصیات عمومی و شرایط مترام کردن کاغذها و رزین‌های مورد استفاده در تولید آنها باشد. بوردورلو و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر ساختار لایه‌ای را بر برخی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی لمینیت‌های فشار زیاد بررسی کردند. لمینیت‌هایی با پنج ساختار لایه‌ای مختلف ساخته شدند. نمونه‌های انتخاب شده از این لمینیت‌ها در معرض مقاومت در برابر سایش، خراشیدن، لکه‌گذاری، بخار آب، گرمای خشک، سوزاندن سیگار، ترک‌خوردگی، شکستن و تغییر رنگ در آزمون‌های نور لامپ قوس زنون قرار گرفتند. نمونه‌ها همچنین مطابق با استانداردهای EN 438 در آزمون غوطه‌وری در آب جوش قرار گرفتند. نتایج به دست آمده از این آزمون‌ها نشان داد که ترتیب لایه‌های مختلف بر مقاومت در برابر ترک‌خوردگی، شکستن یا تغییر رنگ در برابر لامپ قوس زنون تأثیر نمی‌گذارد، اما بر سایر خصوصیات مقاومتی تأثیر می‌گذارد [۹].

پژوهش بیات کشکولی و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که بوراکس و کاغذهای بازیافتی را می‌توان برای تولید HPL که ممکن است اثرهای چندگانه‌ای داشته باشند، مورد استفاده قرار داد. بوراکس و کاغذهای بازیافتی در دسترس ممکن است جایگزین مفیدی برای کاغذ گران قیمت و با کیفیت بالا باشد و همچنین می‌تواند افت مقاومت کاغذهای بازیافتی را جبران کند. کاغذ بازیافتی و بوراکس نسبتاً ارزان و سازگار با محیط زیست هستند و نه تنها تولید یک محصول تمیزکننده محیط زیست را امکان‌پذیر می‌کنند، بلکه عملکرد خوبی در برابر بار، رطوبت و دمای زیاد نیز ارائه می‌دهند [۱۰].

مگینا و همکاران (۲۰۱۶) برای اولین بار بر روی لایه بیرونی HPL پلی‌هگزامتیلن بیگواناید (PHMB) را در ماتریس رزین ملامین فرمالدئید (MF) وارد کردند تا خواص ضد میکروبی در آنها به وجود آید. نتایج نشان از راهبرد امیدوارکننده برای تولید HPL‌های با فعالیت ضد میکروبی بدون تأثیر بر پارامترهای اصلی آن داشت [۱۱].

- مبلمان (صندلی، میز و ...)
- میز کار
- پیشخوان
- حمام
- سرویس بهداشتی عمومی
- داخل آسانسور
- قفسه کتابخانه
- کابینت آشپزخانه، و
- سایر کاربردها [۶ تا ۸].

هنگام استفاده از پنل‌های HPL در نمای ساختمان باید با توجه به طراحی نما به انتخاب روش مناسب نصب نیز دقت شود. به عنوان مثال، از جمله مواردی که ممکن است استفاده از این مصالح مناسب را در طراحی نما محدود کند، محدودیت این گونه پنل‌ها در سطوح منحنی است. البته استفاده از ورق‌های HPL در نماهای منحنی نیز امکان‌پذیر است. اما انتخاب ضخامت ورق و روش نصب آن در چنین شرایطی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. همچنین، بحث مقاومت در برابر آتش و مقاومت در برابر هوازدگی در شرایط بیرونی از جمله خواص مهمی است که چنانچه ورق از کیفیت مناسبی برخوردار نباشد، استفاده از آن محدود خواهد شد [۷ و ۸]. در جایی که رنگ و سطح ورق‌ها حایز اهمیت است، توصیه می‌شود ورق‌ها را از نظر رنگ و سطح برای سازگاری با محیط و نصب بررسی کرد [۹].

نقص‌های زیر در صفحات مجاز است:

الف: آلودگی، لکه و نقص‌های سطحی مشابه آنها

حداکثر اندازه قابل قبول برای این نقص‌ها مقدار ۲ میلی‌متر مربع بر متر مربع می‌باشد که متناسب با ابعاد ورقه است. منطقه‌ی آلوده قابل قبول می‌تواند در یک نقطه متمرکز باشد و یا در یک منطقه با نقص‌هایی کوچکتر پراکنده شده باشد.

ب: لیاف و خراش‌ها

حداکثر اندازه قابل قبول برای این نقص‌ها مقدار ۲۰ میلی‌متر بر متر مربع می‌باشد که متناسب با طول ورقه است. منطقه‌ی تخریب شده قابل قبول می‌تواند در یک نقطه متمرکز باشد و یا در یک منطقه با نقص‌هایی کوچکتر پراکنده باشد [۱۰].

قابلیت ارتجاعی HPL سبب مقاوم شدن صفحات در برابر ضربه‌های وارده می‌گردد. HPL در برابر باران و رطوبت مقاوم است. جذب رطوبت در حال غوطه‌وری در آب معمولاً کمتر از ۶ درصد و افزایش ضخامت ناشی از جذب آب آن کمتر از ۱۰ درصد است. رزین‌های به کار برده شده در HPL با پایداری و مقاومت شیمیایی بالایی که دارند موجب چسبندگی، پیوند پایدار و برگشت‌ناپذیری لایه‌های مختلف به کار گرفته شده در HPL می‌شوند. به همین دلیل عوامل مختلف جوی، تأثیر کمی روی این ورق‌ها دارند و با گذشت زمان باعث کاهش کیفیت آنها نمی‌شوند. استفاده از این مصالح برای طراحی نما، دست طراح را چه از نظر رنگ و چه از نظر طراحی باز می‌گذارد [۱۰ و ۱۱].

نمای HPL یکی از متنوع‌ترین نماهایی است که ساختمان‌سازان به آن دسترسی دارند. این نوع نما هم دارای تنوع رنگ بسیار زیادی است و هم با توجه به این که می‌توان از آن به دو صورت عمودی و افقی استفاده کرد، کاربرد ساده‌تری دارد و دست طراح را برای این منظور بازتر می‌گذارد. این ورق‌ها در ایران تولید نمی‌شوند و تماماً از سایر کشورها، مانند: ترکیه، ایتالیا

۱-۱- خواص فیزیکی، مکانیکی، حرارتی و آتش

استاندارد چندبخشی EN438 با عنوان لمینیت‌های تزئینی فشار زیاد (HPL) - ورق‌های بر پایه رزین‌های گرماسخت شامل ۹ بخش است. بخش اول با عنوان لمینیت‌های تزئینی فشار زیاد (HPL) ورق‌های بر پایه رزین‌های گرماسخت (که معمولاً لمینیت‌ها نامیده می‌شوند) شامل معرفی و اطلاعات عمومی این محصول است. این قسمت از استاندارد EN 438 مطابق کلی این استاندارد را ارائه می‌دهد و راهنمایی برای انتخاب و استفاده از روش‌های آزمون و ویژگی‌های موجود در استانداردهای بخش ۲ تا ۹ است [۱۲].

استاندارد EN 438 قسمت دوم با عنوان لمینیت‌های تزئینی فشار زیاد ورق‌های بر پایه رزین‌های گرماسخت شامل تعیین خواص این محصول است. [۱۳]. خواص مورد نظر عبارت است از:

- ارزیابی ظاهر
- تعیین ضخامت
- تعیین طول و عرض
- تعیین مستقیم بودن لبه
- تعیین گونیا بودن لبه
- تعیین تخت بودن
- مقاومت در برابر سایش سطح
- مقاومت در برابر سایش (نوع کفپوش)
- مقاومت در برابر غوطه‌وری در آب جوش
- محافظت زیرلایه در برابر بخار آب
- مقاومت در برابر بخار آب
- مقاومت در برابر شرایط مرطوب (لمینیت‌های نوع بیرونی)
- مقاومت در برابر حرارت خشک
- ثبات ابعادی در دمای بالا
- مقاومت در برابر حرارت مرطوب
- مقاومت در برابر شوک محیطی (لمینیت‌های نوع بیرونی)
- مقاومت در برابر ضربه توسط توپ با قطر کوچک
- مقاومت در برابر ضربه توسط توپ با قطر بزرگ
- مقاومت در برابر ضربه توسط توپ با قطر بزرگ (نوع کفپوش)
- مقاومت در برابر ترک‌خوردگی تحت تنش (لمینیت‌های $\geq 2\text{mm}$ ضخامت)
- مقاومت در برابر ترک‌خوردگی ریز (لمینیت‌های فشرده)
- مقاومت در برابر خراشیدگی
- مقاومت در برابر لک‌شدگی
- ثبات رنگ (قوس زنون)
- مقاومت در برابر نور UV (لمینیت‌های نوع بیرونی)
- مقاومت در برابر هوازدگی مصنوعی (لمینیت‌های نوع بیرونی)
- تعیین مقاومت در برابر ریزخراش
- شکل‌پذیری
- مقاومت در برابر تاول‌زدگی.

سایر بخش‌های استاندارد EN438 شامل موارد زیر است:

بخش سوم: طبقه‌بندی و ویژگی‌های لمینیت‌های با ضخامت کمتر از ۲ میلی‌متر، بخش چهارم: مشابه قبل با ضخامت ۲ میلی‌متر و بیشتر، بخش پنجم: طبقه‌بندی و ویژگی‌ها برای نوع کفپوش با ضخامت کمتر از ۲ میلی‌متر، بخش ششم: مشابه قبل با ضخامت ۲ میلی‌متر و بیشتر [۱۴].

بخش هفتم: پنل‌های کامپوزیت HPL برای نازک‌کاری سقف و دیوارهای داخلی و خارجی، بخش هشتم: طبقه‌بندی و ویژگی‌ها برای لمینیت‌های طراحی و بخش نهم: طبقه‌بندی و ویژگی‌ها برای لمینیت‌های مغزه جایگزین. با توجه به ماهیت این فرآورده و استاندارد مربوط، بر اساس نتایج آزمون‌های واکنش در برابر آتش استاندارد ورق تزئینی HPL ممکن است در طبقات مختلفی از نظر واکنش در برابر آتش طبق استاندارد ملی ایران شماره ۱-۸۲۹۹-۱ [۱۵] و استاندارد اروپایی EN13501-1 [۱۶] قرار گیرد. بنابراین، با توجه به کاربرد آن در نازک‌کاری و نما، لازم است ورق تزئینی HPL الزامات مربوط در مبحث سوم مقررات ملی ساختمان ایران با عنوان "حفاظت ساختمان‌ها در مقابل حریق" را برآورده نماید [۱۷].

در صورتی که وزن واحد سطح نما از ۵۰ کیلوگرم بر مترمربع بیشتر باشد، باید دارای مهار مناسب مکانیکی برای مقابله با بار زلزله مطابق نشریه ۷۱۴ باشد.

۲- مواد

در این تحقیق، نتایج مطالعات آزمایشگاهی انجام شده بر روی دو نمونه ورق لمینیت فشرده (HPL) موجود در بازار (نمونه اول طرح ساده و نمونه دوم طرح چوب) مورد بررسی قرار گرفت.

۳- آزمون‌ها

۳-۱- آزمون چگالی

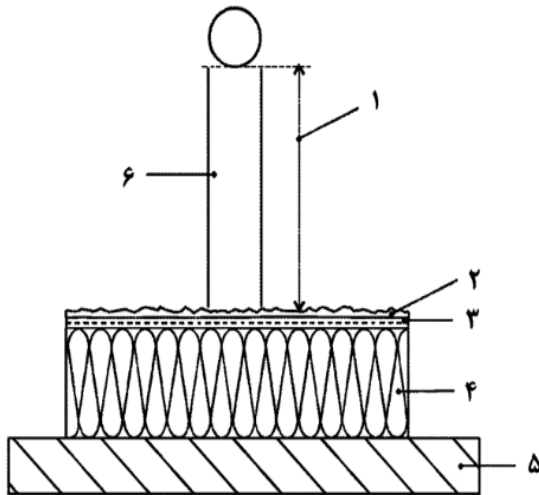
چگالی نمونه‌ها با تقسیم وزن بر حجم آنها به دست آمد. نتایج در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱ چگالی نمونه‌ها

چگالی نمونه‌ها کیلوگرم بر متر مکعب	شماره نمونه
1580.1	1
1475.7	2

۳-۲- آزمون مقاومت در برابر رطوبت و جذب آب

نمونه‌ی آزمایشی در آب با دمای 65 ± 5 درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. پس از آن تغییرات ظاهری، حجم و وزن نمونه‌ها بررسی گردید. شرایط محیط آزمایشگاهی شامل دمای 23 ± 2 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 50 ± 5 ٪ بود. قبل از انجام دادن آزمون، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در شرایط محیط آزمایشگاهی قرار گرفتند. ضخامت نمونه‌ها توسط دستگاه میکرومتر دیجیتال اندازه‌گیری و ضخامت میانگین محاسبه شد. اندازه‌گیری طول و عرض نمونه‌های مربع شکل توسط دستگاه کولیس دیجیتال انجام شد. وزن نمونه‌ها توسط دستگاه ترازوی دیجیتال به صورت دقیق تعیین شد. نمونه‌ها به مدت 15 ± 5 دقیقه در ظرف آب مقطر با دمای ۲۳ درجه سلسیوس قرار داده شد. سپس نمونه‌ها از آب خارج و با پارچه خشک آب روی سطح آنها پاک شد. پس از آن تغییرات حجم و وزن نمونه‌ها بررسی شد. علاوه بر این، هر گونه تغییر در ظاهر ورق‌ها اعم از تاول زدن، لایه لایه شدن، سلامت لبه‌ی نمونه‌ها و ... مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمون سلامت لبه‌ی نمونه‌ها اهمیت زیادی دارد.



راهنما

۱- ارتفاع برای 2J : 408mm

ارتفاع برای 10J : 1020mm

۲- مصالح نازک کاری نهایی

۳- پوشش زیرین با تقویت کننده

۴- عایق حرارتی

۵- سطح صلب و تخت

۶- لوله قائم

شکل ۲ مثالی از وسایل آزمون و آزمون برای مقاومت در برابر ضربه [۱۹]

روش آزمون: شرایط محیط آزمایشگاهی دمای محیط 23 ± 2 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 50 ± 5 ٪ بود. قبل از انجام آزمون، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در شرایط محیط آزمایشگاهی قرار گرفت. بررسی نمونه‌ی آزمون هنگام ضربه با گوی فولادی کوچک در فاصله‌ی ۴۰۸ mm از ورقه و گوی بزرگ در فاصله ۱۰۲۰ mm از ورقه صورت گرفت. برای برآورده کردن الزام ۲J، گلوله فولادی به وزن ۵۰۰g از ارتفاع ۴۰۸ mm بر روی سطح آزمون فرود آمد. برای برآورده کردن الزام ۱۰J، گلوله فولادی به وزن ۱۰۰۰g از ارتفاع ۱۰۲۰ mm بر روی سطح آزمون فرود آمد. در هر آزمون پنج بار گوی بر روی نقاط مختلف آزمون انجام شد. این نقاط دارای فاصله حداقل ۱۰۰ mm از یکدیگر و از لبه‌های آزمون بود. هر گونه تغییر در ظاهر ورقه‌ها اعم از ترک، شکستگی و ... بررسی شد.

هر دو نمونه مورد آزمون در برابر ضربه گوی‌های فولادی بزرگ و کوچک مقاوم بودند و هیچ گونه تغییری در سطح ورق‌ها ایجاد نشد.

۳-۴- آزمون مقاومت خمشی

آزمون مقاومت خمشی بر روی دو نمونه آزمایشی HPL موجود در بازار انجام شد. برای آزمون از دستگاه یونیورسال که مطابق با استاندارد ISO ۵۰۰-۱ و استاندارد ISO 9513 است، استفاده شد. شکل ۳ دستگاه اندازه‌گیری مقاومت خمشی مورد استفاده را نشان می‌دهد. ضخامت، طول و عرض نمونه‌ها توسط دستگاه میکرومتر دیجیتالی اندازه‌گیری شد.

آزمون جذب آب: بر اساس رابطه ۱ درصد جذب آب محاسبه شد.

$$WA = 100 * (M2 - M1) / M1 \quad (1)$$

که در آن:

M1: وزن نمونه پیش از آزمون

M2: وزن نمونه بعد از آزمون

WA: جذب آب

در جدول ۲ درصد وزنی جذب آب ارایه شده است.

جدول ۲ درصد جذب آب

درصد جذب آب	شماره نمونه
1.87	1
1.26	2

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که جذب آب این مواد کم است.

تغییرات ظاهری در برابر رطوبت: برای تغییرات ظاهری سطح نمونه آزمایشی بر اساس میزان تغییرات قابل مشاهده طبق استاندارد EN438-2 امتیازدهی می‌شود. بنا بر این استاندارد امتیازها از شماره ۱ تا ۵ است و هر چقدر میزان تغییر بیشتر باشد، امتیاز کمتر خواهد بود. نمونه اول به دلیل تغییر جزئی در درخشش و ایجاد تاول در امتیاز ۲، و نمونه دوم بدون هیچ تغییر قابل مشاهده‌ای امتیاز ۵ را می‌گیرد. میزان امتیاز هر دو نمونه به دلیل عدم تغییر قابل مشاهده در ظاهر و همچنین لبه‌ها، ۵ است.

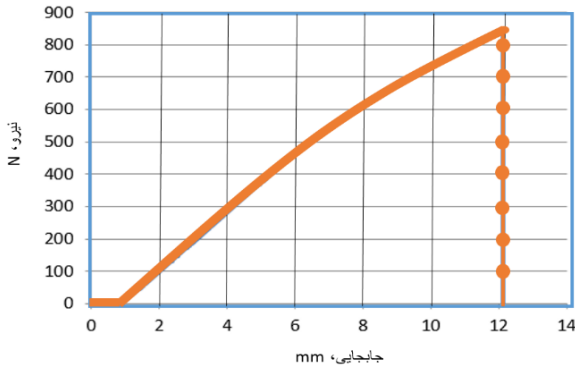
۳-۳- آزمون میزان مقاومت در برابر ضربه توسط گوی فولادی

مقاومت در برابر ضربه (مقاومت ضربه‌ای) مصالح نمای ساختمان به وسیله یک گلوله فولادی که روی سطح آنها فرود می‌آید، تعیین می‌شود. هر گونه آسیب ایجاد شده به طور کیفی درجه‌بندی می‌شود.

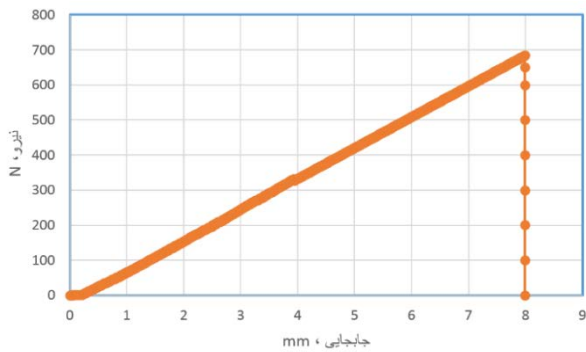
دو نمونه گوی فولادی جلا یافته که یکی برای تراز مقاومت ضربه‌ای ۱۰ J، یک گلوله فولادی به وزن $g (100 \pm 10)$ از ارتفاع $mm (1020 \pm 10)$ فرو می‌افتد. برای این منظور لوله‌ای قائم با قطر داخلی حداقل ۲ mm بزرگتر از قطر گلوله فولادی و طولی برابر ۱۰۲۰ mm در بالای سطحی از آزمون افقی برپا می‌شود. گلوله از میان لوله بر روی سطح آزمون فرو می‌افتد. گلوله فولادی دیگری برای تراز مقاومت ضربه‌ای ۲ J، به وزن $g (500 \pm 50)$ از ارتفاع $mm (408 \pm 10)$ فرو می‌افتد (شکل ۲). برای این منظور لوله‌ای قائم با قطر داخلی حداقل ۲ mm بزرگتر از قطر گلوله فولادی و طولی برابر ۴۰۸ mm در بالای سطحی از آزمون افقی برپا می‌شود [۱۹ و ۲۰].

گلوله از میان لوله بر روی سطح هر یک از آزمون‌ها فرود آمد.

در شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب تغییرات جابه‌جایی در برابر نیرو در نمونه‌های اول و دوم نشان داده شده است.



شکل ۵ تغییرات جابه‌جایی در برابر نیرو برای نمونه اول



شکل ۶ تغییرات جابه‌جایی در برابر نیرو برای نمونه دوم

در جدول ۳ نتایج آزمون اندازه‌گیری نیروی شکست یا نیروی نهایی بر اثر خمش سه نقطه‌ای ارائه شده است.

جدول ۳ نیروی شکست نمونه‌ها

نیروی شکست N	شماره نمونه
845	1
685	2

مقاومت خمشی بر حسب MPa با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (2)$$

که در آن:

σ_f : مقاومت خمشی

F: نیروی شکست بر حسب نیوتن

L: فاصله بین دو تکیه‌گاه بر حسب میلی‌متر

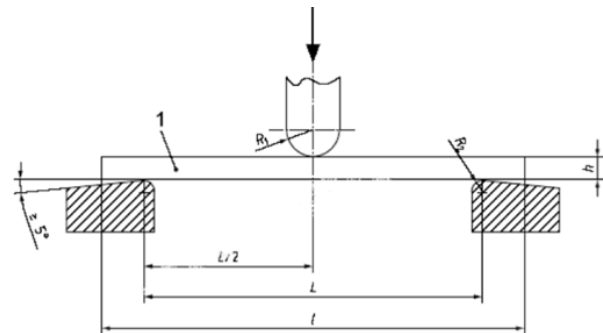
b: عرض آزمون بر حسب میلی‌متر

h: ضخامت آزمون بر حسب میلی‌متر است.



شکل ۳ دستگاه اندازه‌گیری مقاومت خمشی

روش آزمون: برای بررسی میزان مقاومت در برابر شکستگی نمونه‌های آزمایشی با مقطع عرضی مستطیل شکل، آزمون روی دو تکیه‌گاه، به وسیله فعالیت یک لبه اعمال نیرو در نقطه میانی آن بین دو تکیه‌گاه خمیده می‌شود. به این صورت آزمون با یک نرخ ثابت اعمال نیرو در نقطه میانی بین دو تکیه‌گاه خمیده می‌شود تا در سطح بیرونی آزمون گسستگی رخ دهد یا تا زمانی که حداکثر کرنش حاصل شود، هر کدام که اول رخ دهد [۲۱ و ۲۲]. در طول این عمل، نیروی اعمال شده به آزمون و خمش ایجاد شده در آزمون در نقطه میانی بین دو تکیه‌گاه اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۴). محیط آزمایشگاه در شرایط دمای محیط 23 ± 2 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 50 ± 5 ٪ قرار داشت. قبل از انجام دادن آزمون، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای محیط قرار گرفت.



راهنما:

1: آزمون

F: نیروی اعمال شده

R1: شعاع لبه بارگذاری

R2: شعاع تکیه‌گاه‌ها

h: ضخامت آزمون

L: فاصله بین تکیه‌گاه‌ها

l: طول آزمون

شکل ۴ موقعیت آزمون در شروع آزمون [۲۱]

- [9] Erol Burdurlu, Özlem Özgenç, Effect of different layer structures on some resistance characteristics of high-pressure laminates, *Forest Products Journal*, 59 (4): 69-75, April 2009.
- [10] Ali Bayatkashkoli, Omid Ramazani, Somayeh Keyani, Hamid Reza Ansouri, Narjes Khaton Madahia, Investigation on the production possibilities of high pressure laminate from borax and recycled papers as a cleaner product, *Journal of Cleaner Production*, Volume 192, Pages 775-781, 10 August 2018.
- [11] Sandra Magina, Mauro D. Santos, João Ferra, Paulo Cruz, Inês Portugal, Dmitry Evtuguin, High Pressure Laminates with Antimicrobial Properties, *Materials (Basel)*, 9(2): 100. doi: 10.3390/ma9020100, Feb. 2016.
- [12] CEN EN 438-1, High-pressure decorative laminates (HPL) - Sheets based on thermosetting resins (usually called laminates), Part 1: Introduction and general information, 2016.
- [13] CEN EN 438-2:2016+A1, High-pressure decorative laminates (HPL), Sheets based on thermosetting resins (usually called laminates), Determination of properties, 2018.
- [14] CEN EN 438-6, High-pressure decorative laminates (HPL), Sheets based on thermosetting resins (usually called laminates), Classification and specifications for Exterior-grade compact laminates of thickness 2 mm and greater, 2016.
- [15] استاندارد ملی ایران، شماره ۸۲۹۹، «واکنش در برابر آتش برای مصالح و فرآورده‌های ساختمانی - روش طبقه‌بندی»، ۱۳۸۴.
- [16] CEN - EN 13501-1, Fire classification of construction products and building elements, Part 1: Classification using data from reaction to fire tests.
- [17] وزارت راه و شهرسازی، معاونت مسکن و ساختمان، مقررات ملی ساختمان ایران، میث سوم، حفاظت ساختمانها در مقابل حریق، دفتر مقررات ملی ساختمان، ویرایش سوم ۱۳۹۵.
- [18] سازمان برنامه و بودجه کشور، دستورالعمل طراحی سازه‌ای و الزامات و ضوابط عملکردی و اجرایی نمای خارجی ساختمانها، معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی، امور نظام فنی و اجرایی، ضابطه شماره ۷۱۴، ۱۳۹۵.
- [19] استاندارد ملی ایران، شماره ۱۱۴۲۵، مصالح ساختمانی - فرآورده‌های عایق کاری حرارتی - تعیین مقاومت در برابر ضربه سامانه‌های مرکب عایق حرارتی خارجی - روش آزمون.
- [20] CEN EN 13497, Thermal insulation products for building applications, Determination of the resistance to impact of external thermal insulation composite systems (ETICS), 2018.
- [21] استاندارد ملی ایران، شماره ۳۵۷، پلاستیک‌ها - تعیین خواص خمشی.
- [22] CEN EN ISO 178, Plastics. Determination of flexural properties, 2010.

در جدول ۴ نتایج آزمون مقاومت خمشی دو نمونه HPL آمده است.

جدول ۴ مقاومت خمشی دو نمونه HPL	
شماره نمونه	مقاومت خمشی، MPa
1	188.5
2	176.8

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، نتایج مطالعات آزمایشگاهی انجام شده بر روی دو نمونه ورق‌های لمینیت فشار زیاد (HPL) موجود در بازار (نمونه اول طرح ساده و نمونه دوم طرح چوب) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون‌ها نشان داد که صفحات مورد آزمون در شرایط مرطوب پایداری داشتند و مقدار جذب آب آنها کم بود. آزمون‌های دیگر نشان داد که این صفحات در برابر ضربه دچار ترک، شکستگی و فرورفتگی نشدند و مقاومت در برابر ضربه خوبی از خود نشان دادند. نتایج آزمون خمش سه محوری نشان داد که ورق‌های لمینیت فشرده مقاومت خمشی زیادی دارند. در کل نتایج آزمون‌های انجام شده نشان دهنده‌ی مقاومت بالای ورق‌های لمینیت فشار زیاد در برابر رطوبت، ضربه و نیروی خمشی است.

۵- تقدیر و تشکر

از جناب آقای دکتر علی دوستی، عضو هیأت‌علمی بخش مصالح و فرآورده‌های راه و ساختمان مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، بابت همکاری ایشان در انجام دادن این پژوهش سپاسگزاری و قدردانی می‌شود.

۶- مراجع

- [1] Arpa HPL laminates, Technical Information Part 1: Thin HPL, Hpl for interior design, Arpa Industriale S. P. A., 2013, https://www.arpaindustriale.com/sites/default/files/download/technical_information_part_1_thin_hpl_2013.pdf.
- [2] W. M. Hunter, Decorative Laminates: In., S. H. Pinner, W. G. Simpson, Editors, *Plastics: Surface and Finish*, Butterworth and Co. Ltd.; London, UK, pp. 187-216, 1971.
- [3] High Pressure Laminates : A Designer's Choice, https://www.royaletouche.com/laminate/high_pressure_laminates/High_Pressure_Laminates.pdf.
- [4] L. Swart, HPL presentation, Davidson's Discount Boards, 2018. <http://files.autospec.com/za/davidsonboards/brochures/information/abet/high-pressure-laminate-actual-slide>.
- [5] Polytec Laminates, High Pressure LAMINATES, 2019. <https://www.polytec.com.my/docs/technical/polytec-technical-sds-high-pressure-laminate.pdf>.
- [6] A. B. Figueiredo, D. V. Evtuguin, J. Monteiro, E. F. Cardoso, P. C. Mena, P. Cruz, Structure-surface property relationships of kraft papers: Implication on impregnation with phenol-formaldehyde resin. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 50:2883-2890, doi: 10.1021/ie101912h, 2011.
- [7] Product Data Sheet for High-Pressure Laminates (HPL), August 2014. <http://www.icdli.com/wp/wp-content/uploads/2010/06/PDS-070514-Product-Data-Sheet-HPL.pdf>
- [8] F. Balsells Coca, J. M. Font Cistero, High pressure laminated material for floors, European Patent Application, Barcelona, 1999.