



Woodiconf-07

مقاومت برشی اتصالات چوب راش با چسب های تولید شده تجاری PVAc D3

محمد پناهی فتمه سری

دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع چوب و فرآورده های سلولزی، دانشگاه شهید رجایی تهران
Email: panahimohammad1998@gmail.com

چکیده

یکی از پرکاربردترین انواع چسب در کاربردهای غیر سازه ای چوب که دارای ویژگی های بسیار سودمندی است، پلی وینیل استات (PVAc) است که با توجه به دوامی که در برابر رطوبت و شرایط آب و هوایی دارد، در چهار کلاس مختلف (D1-D4) تولید می شود. در این مطالعه، شش مورد از پرکاربردترین و در دسترس ترین برندهای تجاری چسب چوب PVAc در کلاس دوام D3 با قیمت و مبدا مختلف (تولید داخلی یا وارداتی) و با هدف بررسی و مقایسه قابلیت چسبندگی "چوب به چوب" چوب راش که یکی از مهمترین گونه های مورد استفاده در تولید مبلمان در اروپا است، از بازار تهیه شد، و کیفیت چسب های تولید شده طبق استانداردهای (EN 204, EN 205) مورد ارزیابی قرار گرفت. سه فرآیند مختلف از عملیات تهویه بر روی این ۶ نمونه چسب D3-PVAc در اتصال رویهم (لب به لب) استفاده شد و "مقاومت برشی کششی" نمونه ها تعیین شد، ضمن این که پس از خراب شدن آنها، درصد "شکست چوب" به لحاظ بصری بر روی سطوح اتصال ارزیابی شد. با توجه به این نتایج، مقادیر مقاومت برشی کششی اتصالات بین ۱۱/۴۸ تا ۱۳/۱۸ N/mm² بود که نشاندهنده قدرت چسبندگی رضایت بخشی برای تمام انواع برندهای چسب و فرآیند اعمال شده پس از چسبندگی بود و با الزامات استاندارد برای طبقه بندی کلاس دوام D3 مطابقت داشت. عامل "نوع برند چسب" تاثیر قابل توجهی بر مقادیر مقاومت برشی داشت در حالی که نه "عملیات تهویه" اعمال شده برای نمونه ها و نه تعامل بین دو عامل "نوع برند چسب" و "طرز عمل"، اثر قابل توجهی بر مقادیر مقاومت برشی نمونه ها نشان نداد، و این امر نشان دهنده عملکرد خوب اتصال، چه در شرایط محیط اطراف و چه در شرایط محیطی با رطوبت بالا است. تفاوت در قیمت چسب (یورو/۱۰۰ g)، مبدا و سایر مشخصات فنی (ویسکوزیته، محتوای جامد)، بر مقاومت برشی اتصالات تاثیری نداشت. کیفیت رضایت بخش چسبندگی در چسب های مورد مطالعه با درصدهای بالای «شکست چوب» که تقریباً روی همه نمونه ها ثبت شده بود، و همچنین خطوط اتصال مشاهده شده با استریوسکوپی تأیید شد که این امر حاکی از پتانسیل بالای مقاومت در برابر رطوبت و اثر فرسودگی است که می تواند دامنه کاربرد این چسب های سازگار با محیط زیست را حتی بیشتر از این گسترش دهد.

واژه های کلیدی: چسب چوب، فرسودگی، چسب، PVAc، برش دامان، چوب و کامپوزیت های چوبی.



مقدمه

انتخاب نوع چسب در هر یک از موارد کاربرد صنعتی، تحت تأثیر عوامل زیادی مانند قیمت، فرآیند کاربرد، کاربرد نهایی، عملکرد مورد نیاز، نگرانی های زیست محیطی و غیره قرار دارد (Chiozza & Pizzo, 2016) که در مورد چوب نیز صدق می کند (Till et al, 2017). پلی (وینیل استات) (PVAc) یکی از پرکاربردترین چسب هایی است که در کاربردهای غیر سازه ای چوب و محصولات چوبی مانند مبلمان (روکش، لبه چسبان و اتصالات)، پارکت، تخته سه لا و محصولات چوبی لمینت و غیره مورد استفاده قرار می گیرد، زیرا آنها همه کاره هستند و در اشکال مختلفی برای مصارف مختلف عرضه می شوند.

امولسیون های پلی (وینیل رزین) ترموپلاستیک هستند، و با افزایش دما نرم شده و وقتی سرد می شوند دوباره سفت می شوند (Salvini et al, 2009). فشار سرد معمولاً برای تغلیظ آنها در دماهایی که معمولاً باید تا حدود ۸۰ درجه سانتیگراد باشد استفاده می شود (Tout, 2000). اگرچه طبیعت ترموپلاستیک آنها مزیتی را در طی پردازش نشان می دهد، بر این امر نیز دلالت دارد که تغییر در دما و رطوبت نسبی بر قدرت چسبندگی تأثیر می گذارد. از چسبهای PVAc معمولاً به صورت فرمولاسیون مبتنی بر آب استفاده می شود، که موجب افزایش میل آبی آنها نسبت به پلیمر خالص می شود (Chiozza & Pizzo, 2016)، ضمن اینکه این چسبها برگشت پذیر هستند، یعنی رطوبت موجب می شود که آنها کم و بیش به حالت مایع اولیه خود برگردند. بنابراین، چسب های PVAc به طور کلی برای اتصالاتی که تحت بار مداوم و یا در معرض دمای بالا و/یا رطوبت بالا قرار دارند توصیه نمی شوند، اگرچه این چسب ها را می توان برای بهبود عملکرد تحت چنین شرایطی فرمول بندی کرد (Vassiliou et al, 2007). برخی از PVAc ها وقتی برای اولین بار معرفی شدند، تحت فشار طولانی مدت در معرض خزش قرار داشتند؛ یک خاصیت نامطلوب برای چوب/چسب چوب که به صورت حرکات ناشی از رطوبت در قطعات چسبانده شده پس از اتصال حتی بدون وجود نیروهای خارجی، به ناچار چسب را تحت فشار قرار می دهد. با این حال، خواص خزشی چسب های PVAc در اتصالات چوبی/چوب به طور کلی این روزها کاملاً مناسب هستند، و برای سالهای متمادی برای مونتاژ رولپلاک و اتصال فاق و زبانه برای قاب صندلی استفاده می شود، هرچند که استفاده از آنها برای اتصالاتی که تحت فشار دائمی قرار دارند توصیه نمی شود.

آنها با پلیمرشدن امولسیونی وینیل استات و مونومرهای دیگر در آب، تحت شرایط کنترل شده و در حضور پلی وینیل الکل (PVA) به عنوان کلئید محافظ تهیه می شوند (Salvini et al, 2009). PVAc به شکل امولسیفه در آب پراکنده است و دارای قوام و محتوای غیریفراری است که به طور کلی با چسب های رزین ترموست قابل قیاس است. امولسیون های پلی وینیل ترموست امولسیون های PVAc اصلاح شده ای هستند و نسبت به چسب های معمولی PVAc در برابر حرارت و رطوبت مقاوم ترند و در اکثر مصارف داخلی غیرسازه ای و خارجی محافظت شده عملکرد خوبی دارند. چسب های چوب مبتنی بر PVAc محصولاتی هستند که از اهمیت اقتصادی با ویژگی های مطلوب فراوانی برخوردارند، زیرا قادر به ایجاد پیوندهای قوی و بادوام بر روی چوب نرم و محصولات مشتق شده از چوب سخت هستند، هزینه کمی دارند و استفاده از آنها آسان است (Vassiliou et al, 2007)، هرچند که به اندازه چسب های معمولی فرمالدئید آوره در برابر رطوبت و گرما مقاوم نیست. علاوه بر این، Dilik و همکاران (۲۰۰۷) پایین تر بودن عملکرد و خواص کلی نمونه های PVAc تولید شده با گونه های کاج دریایی و Kosipo را در مقایسه با چسب پلی اورتان آشکار ساختند. چسب های PVA سیستم های تک بخشی هستند که از مزیت عمر مصرف نامحدودی برخوردارند (Tout, 2000). چسب های PVAc معمولی سازگار با محیط زیست، بی بو، غیر قابل اشتعال، با رئولوژی مناسب، دارای چسبندگی خوب به زیرلایه های سلولزی، زمان گیرش نسبتاً کوتاه در دمای معمولی محیط (Tout, 2000)، و چسبندگی بالا به لایه پلیمری هستند (Zhang et al, 2018). آنها به صورت فیلم های تقریباً شفاف استفاده می شوند، و این امر همراه با این واقعیت که می توان از وزنه های کاربردی سبک برای آن استفاده کرد، نشان می دهد که اتصالات چسب های PVAc، چسب های نازک، عملاً نامرئی، با رنگ روشن و اغلب شفاف را ایجاد می کنند. با این حال، آنها قابلیتضعیفی در پر کردن شکاف دارند و بنابراین استفاده از آنها مستلزم ماشینکاری دقیق اتصالات است. فقط در مورد وزن، چسب های PVAc گرانتر از چسب های UF هستند. اما اگر هزینه هر واحد سطح پانل در نظر گرفته شود، این اختلاف هزینه می تواند کاهش یابد. بنابراین، معمولاً وزن



پوشش داده شده سبک تری با چسب های PVAC امکان پذیر است، و ضایعات آن بطور کل کمتر از سیستم های دو بخشی با عمر مصرف محدود خواهد بود (Tout, 2000). آنها به صورت مایعات سفید شیری برای استفاده در دمای اتاق به بازار عرضه می شوند که طبق استاندارد EN-204:2016 مانند سایر چسب های غیر سازه ای در کلاس های دوام D1، D2، D3 و D4 طبقه بندی می شوند (En 204, 2016) که هر کلاس به شرایط آب و هوایی مختلف دوام و دامنه کاربرد اشاره دارد. آنها برای استفاده در داخل خانه، با در معرض گذاری کوتاه مدت و مکرر در معرض آب جاری یا تغلیظ شده (کف، حمام، مبلمان آشپزخانه، پارکت های لمینت و غیره) و یا در معرض رطوبت زیاد (مبلمان باغی، قاب پنجره ها/درها، ابزارهای مورد استفاده در فضای باز و غیره) و همچنین فضای بیرونی که در معرض هوا قرار نمی گیرند در نظر گرفته شده اند (En 204, 2016). Vassiliou و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که چسب های PVAc کلاس D3 در مقایسه با چسب های PVAc کلاس D1 و D2، در شرایط محیطی نیز مقاومت برشی بالاتری را به نمونه های اتصال می دهند و بنابراین، پیشنهاد کردند که چسب PVAc کلاس D3 در چنین کاربردهایی ترجیح داده شود.

به طور کلی، چسب های کلاس D3 عملکرد رضایت بخشی را ارائه می دهند که با چسب های ترموست برای کاربردهای غیر سازه ای قابل قیاس هستند و با پدیده "گیرش سرد" توصیف می شوند، که به تغلیظ آن در دمای اتاق اشاره دارد (Chiozza & Pizzo, 2016) که معمولاً حدود ۱۵ دقیقه با عملیات صحیح اتصال طول می کشد و می تواند با گرما تسریع شود. این چسب ها از طریق تبخیر و انتشار آب به داخل چوب و در عین حال با ادغام ذرات پلیمری چسبیده می شوند (Salvini et al, 2009). از آنجایی که کلاس D3 بر مقاومت خاصی در برابر آب و گرما و همچنین مقاومت در برابر بارگذاری (خزش) دلالت دارد (Chiozza & Pizzo, 2016)، اصلاحات متعددی برای کاهش خزش و افزایش مقاومت پیوندهای چسب PVAc در برابر آن انجام شده است (Salvini et al, 2009). در فرمولاسیون عادی PVAc D3، یک اتصال دهنده عرضی مناسب (Nmethylolacrylamide) و غیره) به منظور برآوردن الزامات کلاس D3 (Kaboarani & Riedl, 2011; Chiozza & Pizzo, 2016) در طی پلیمری شدن وارد مولکول می شود، و امکان رقابت با چسب های از نوع انتشار حلال را فراهم می کند. چسب های PVAc D2 و D3 چسب های خود کاتالیزکننده تک قسمتی هستند که هنوز هم ماندگاری معقولی دارند، اما PVAc های D4 همیشه سیستم های دو بخشی هستند (Salvini et al, 2009; Tout, 2000).

بر اساس مقالات، اطلاعات چندانی در مورد چوب های جنگلی و سفت پوششی وجود ندارد، برخلاف چوب های نرم که تاکنون به طور گسترده تری مورد بررسی قرار گرفته و در صنعت مورد استفاده قرار گرفته اند (Vassiliou et al, 2007). در مطالعه قبلی نویسندگان (Kamperidou & Barboutis, 2017) مشخص شد که چسب PVAc از کلاس D3 مقاومت و عملکرد برشی پیوندی بالاتر را نسبت به چسب پلی اورتان (PUR) برای چوب راش و لوکوست سیاه تحت فشارهای مختلف اعمال شده نشان داد. با این حال، نمونه های چوب راش از هر دو چسب PVAc و PUR مقاومت بالاتری را نسبت به لوکوست سیاه نشان دادند، در حالی که فشار کمتر اعمال شده بر روی نمونه ها، بیانگر مقاومت برشی بالاتر هم برای گونه های چوب و هم برای هر دو چسب می باشد. Ors و همکاران (۲۰۰۰) مقاومت اتصال چوب راش را در میان گونه های دیگر که همگی با چسب های PVAc و PVAc چسبانده شده بودند بررسی کردند و نشان دادند که بیشترین مقاومت با چوب راش آغشته شده به T-CBC بر اساس روش غوطه وری و چسب K303 بدست آمده است. Barboutis و همکاران (۲۰۰۵) و Vassiliou و همکاران (۲۰۰۷) اثر طول انگشت و اثر پیوند PVAc را به ترتیب بر استحکام چوب راش بخار پز شده و دارای اتصالات انگشتی و چوب راش بخار پز نشده مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که چسب های PVAc هم برای کاربردهای غیر سازه ای و هم برای کاربردهای داخلی مناسب هستند. از آنجاییکه چسب های PVAc معمولی از کلاس D3 دارای برخی دردهای مکرر مانند رنگ آمیزی چسب و رنگ آمیزی غیر مستقیم چوب هستند که بیشتر در گونه های خاص چوب، اغلب در حضور گرما یا تابش اشعه ماوراء بنفش به دلیل تولید ترکیبات کروموفور، pH اسیدی ناشی از تشکیل اسید استیک متعاقب واکنش های هیدرولیز (Rodríguez-Vázquez et al, 2006)، خوردگی تجهیزات (مربوط به حضور کلرید آلومینیوم) و غیره قابل مشاهده است. Chiozza و Pizzo (۲۰۱۶) سیستم های PVAc-D3 که جدیداً سنتز شده بودند را توسعه دادند و نشان دادند که چگونه اجتناب از استفاده از عوامل



دارای اتصال عرضی معمولی، تغییر کلوئید محافظ در امولسیون پلیمری، استفاده از آغازگر حرارتی به جای آغازگر قرمز، افزودن ویتامین C به عنوان عامل کاهش دهنده، و حذف مواد بالقوه آزاد کننده فرمالدئید از بیوسیدها، امکان توسعه محصولات جدیدی را فراهم ساخته که در آن مسائل مورد بحث به حداقل رسیده است.

هرچندکه، شیمی فرمولاسیون PVAc کاملاً شناخته شده است و مطالعات متعددی که تاکنون انجام شده اند به بهبود عملکرد چسب PVAc D3 کمک کرده اند، اما هیچ اطلاعات جامعی در مقالات در مورد کیفیت اتصال و عملکرد برند های مختلف چسب های PVAc D3 تجاری تولید شده در بررسی تحت شرایط یکسان یا بر روی گونه های چوبی یکسان مشاهده نشد، تا بتوان در مورد کیفیت این محصولات و قابلیت اطمینان اطلاعات بسته ها نتیجه گیری کرد.

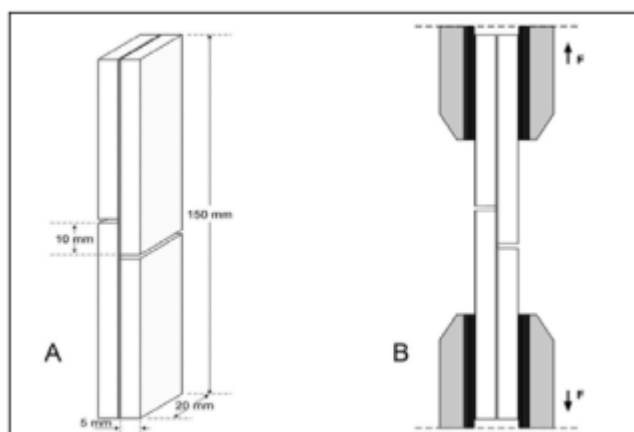
بنابراین، هدف از تحقیق حاضر بررسی و مقایسه قابلیت چسبندگی "چوب به چوب" از طریق بررسی مقاومت چسبندگی برشی کششی در اتصالات چوبی لب رویهم، با استفاده از شش مورد از پرکاربردترین و در دسترس ترین برند های تجاری چسب چوب PVAc در کلاس دوام D3 با قیمت و مبدا مختلف (تولید داخلی یا وارداتی) در چوب راش است که یکی از مهمترین گونه های مورد استفاده در تولید مبلمان به ویژه در اروپا (Vassiliou et al, 2007) می باشد. روش شناسی دنبال شده مبتنی بر استانداردهای EN 204:2016 و EN 205:2016، و فرآیندهای عملیات تهویه در دوره های مختلف بود و این شرایط به طور مستقیم پس از چسبندگی بر روی نمونه های اتصال مطابق با شرایط عادی فرسودگی و تسریع آن (تهویه در هوای استاندارد، غوطه وری در آب برای آزمایش مقاومت در برابر آب و غیره) اعمال شد تا اثر آنها بر "مقاومت برشی کششی" اتصالات مورد بررسی قرار گیرد. پس از خراب شدن نمونه ها، درصد "شکست چوب" در آنها به لحاظ بصری ارزیابی شد.

مواد و روش ها

آزمایش ها با چوب راش اره شده (*Fagus sylvatica* L.) که از منطقه پیندوس (یونان مرکزی) به دست آمده بودند انجام شد. این چوبهای اره شده در اتاق تهویه مطبوع با دمای 20 ± 2 درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی 65 ± 5 درصد قرار داده شدند تا به وزن ثابت خود برسند و مقدار رطوبت تعادلی (EMC) آنها به دست آید. میانگین تراکم چوب راش 0.722 g/cm^3 اندازه گیری شد (ISO 13061-2:2014). فقط از چوبهایی با ساختار معمولی در این آزمایش استفاده شد. تخته های مورد استفاده در این آزمایش عمدتاً از ناحیه سخت مرکزی تنه درخت بودند که در موازات شاخه بریده شده بودند. تخته های در نظر گرفته شده برای مونتاژ و چسباندن دارای ابعاد 300 mm طول $\times 55 \text{ mm}$ عرض $\times 25 \text{ mm}$ ضخامت بودند و بصورت عناصر چوبی جفتی دسته بندی شدند تا در بلوک ها مونتاژ شوند. دقیقاً قبل از فرآیند باندینگ، تخته ها با استفاده از چاقو به ضخامت نهایی 20 mm رسیدند، که این مرحله ضروری اثرات فرسودگی را از سطوح چوب حذف کرده و سطوح اتصال را صاف و یکنواخت می کند.

جدول ۱. اندازه گیری و گزارش بسته محصول، خصوصیات / مشخصات فنی چسب های مورد بررسی در آزمایش

چسب	خصوصیات گزارش شده در مورد بسته			خصوصیات اندازه گیری شده
	pH	وزن مخصوص (kg/lt) چگالی (g/cm^3)	ویسکوزیته (mPa.s)	محتوای جامد (%)
A	3	ارجاع نشده است	13500	48.7
B	3	$1.05 \pm 0.05 \text{ kg/lt}$	27000 ± 5000	45.3
C	3	1.1 kg/lt	15000 ± 5000	50.0
D	3	1.1 g/cm^3	13000	50.3
E	3	1.0 kg/lt	11000	48.2
F	8	1.08 kg/lt	11000	51.7



شکل ۱. پیکره بندی نمونه آزمایشی (A)، نحوه بارگذاری نیروهای سختی نمونه (B).



شکل ۲. نمونه های راش از چسب C و از سه فرآیند مختلف کاربردی (a. تهویه ۷ روزه در هوای استاندارد، b. تهویه ۷ روزه در هوای استاندارد، c. تهویه ۷ روزه، d. تهویه ۷ روزه در آب - تهویه ۷ روزه). پس از خرابی در آزمایش مقاومت برشی.

شش مورد از پرکاربرترین چسبهای PVAc بر پایه چسب های تک جزئی و کلاس دوام D3 برای مصارف داخلی، که در بازار یونان و همچنین در سراسر جهان در دسترس هستند، مورد مطالعه قرار گرفته اند (اسامی که به صورت تصادفی آورده شده اند: Uzin, Henkel, Bison, Mercolla, Durostick, Racoll). به طور کلی اعتقاد بر این است که قیمت چسب ها، و همچنین بسیاری از محصولات دیگر، در فروشگاه های مختلف یا بین اندازه بسته بندی ها/مقدار محصول متفاوت است. با این حال، قیمت این ۶ نوع چسب با برندهای مختلف که از طریق بازار بدست آمده بودند، در مقایسه برندها با یکدیگر بسیار متفاوت و از ۰.۹ تا ۱.۹۹ یورو در ۱۰۰ گرم بودند. بنابراین، مقایسه قابلیت اتصال این چسبها که دارای قیمت متفاوتی هستند، می تواند ما را به نتیجه گیری در مورد رابطه بین کیفیت چسب و قیمت برساند.

این چسب ها با پیروی از پارامترهای اتصال چسب و دستورالعملهای سازنده بر روی اتصالات عناصر چوبی استفاده شدند. در هر مورد، چسب با استفاده از اپلیکاتور دستی شانه ای مناسبی بر روی سطوح هر دو قسمت پخش شد و مقدار چسب استفاده شده در هر سطح بلوک ۴.۵ گرم بود. میزان رطوبت چوب راش در زمان پخش کردن چسب ۸/۷٪ بود (ISO 13061-1:2014). فشار ۱۷.۸۵ kPa با استفاده از دستگاه مخصوصی بر روی نمونه ها اعمال شد، این فشار از پیستون های هوا حاصل می شود که فشار مورد نیاز را به طور یکنواختی در کل ناحیه چسبانده شده و در $\pm 5\%$ مقدار مورد نظر اعمال می کند. فشار اعمال



شده توسط آونگهای دستگاه پرس تا پایان فرآیند عمل آوری چسب ها ادامه داشت و برای اکثر چسب ها ۱ ساعت به طول انجامید. در نمونه های تهیه شده، ضخامت لایه در خطوط باریک پیوستگی ایجاد شده ظاهراً ۰.۱ میلی متر بود.

پس از یک هفته ذخیره سازی (۷ روز) تحت شرایط آب و هوایی استاندارد (20 ± 2 درجه سانتیگراد، 65 ± 5 درصد رطوبت) نمونه های نهایی هر بلوک متصل همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده، شکل گرفت. پس از آماده سازی آنها، نمونه های آزمایشی چسبانده شده به مدت یک هفته تا لحظه آزمایش، به منظور آماده سازی و تکمیل پلیمری شدن چسب در هوای استاندارد با رطوبت نسبی (65 ± 3 ٪) و دما (20 ± 2 °C) قرار داده شدند.

بعد از آن، ۱/۳ از این نمونه ها به مدت ۳ ساعت در آبی با دمای 20 ± 5 درجه سانتیگراد غوطه ور شدند و سپس طبق استاندارد مربوطه هفت روز دیگر در هوای استاندارد قرار گرفتند (EN 204:2016). ۱/۳ بقیه نمونه ها به مدت هفت روز آماده سازی شدند. به مدت ۴ روز در آب غوطه ور شده و سپس دوباره به مدت هفت روز در هوای استاندارد قرار گرفتند تا مقاومت برشی نمونه های چسبانده شده راش در هر دو شرایط آب و هوایی معمولی و پس از فرآیندهای فرسودگی سریع شرح داده شده، طبق استاندارد مربوطه مورد ارزیابی قرار گیرد (EN 205:2016).

جدول ۲. استحکام چسبندگی نمونه های بلوک چوب راش با چسب PVAc در هوای معمولی (۷ روز تهویه)، در هوای مرطوب (۷ روز تهویه + ۳ ساعت در آب + ۷ روز) و (۷ روز تهویه + ۴ روز در آب + ۷ روز)، و مقادیر درصد شکست چوب.

چسب	توالیهای آماده سازی (مدت زمان و شرایط)					
	۷ روز در هوای استاندارد		۷ روز در هوای استاندارد + ۳ ساعت در آب (20 ± 5 °C) + ۷ روز در هوای استاندارد		۷ روز در هوای استاندارد + ۴ روز در آب (20 ± 5 °C) + ۷ روز در هوای استاندارد	
	F/mm ²	٪ شکست چوب	F/mm ²	٪ شکست چوب	F/mm ²	٪ شکست چوب
A	12.99 (2.45) ^a	100	12.59 (2.00)	90	12.95 (2.21)	90
B	13.14 (1.97)	80	12.58 (2.18)	55	12.71 (1.77)	50
C	12.23 (1.98)	50	13.34 (2.02)	95	14.05 (2.03)	90
D	11.48 (1.59)	90	12.16 (2.10)	100	11.86 (1.88)	85
E	13.18 (1.18)	100	12.30 (1.62)	90	12.81 (1.82)	80
F	13.11 (1.43)	100	13.62 (1.65)	100	13.58 (1.32)	95

a مقادیر انحراف معیار در ۱۲ نمونه.

برای هر آزمایش، تعداد ۱۲ نمونه ساخته شد، در حالیکه برای کل این کار تحقیقاتی در مجموع ۲۱۶ نمونه چسبانده شده تهیه شد (۱۲ نمونه برای هر پارامتر ۶ چسب PVAc $3 \times$ فرآیند عملیات تهویه پس از چسبندگی، از جمله تهویه و آزمایش مقاومت در برابر آب).

آزمایش مقاومت برشی کششی اتصالات رویهم طبق فرآیند توصیف شده در استاندارد مربوطه انجام شد (۱۵). همانطور که در روش استاندارد توضیح داده شده، اتصالات متقارن چسبیده بین دو چسب چوبی متقارن تحت عملیات تهویه ای و فشار مشخصی قرار گرفتند تا با نیروی کششی در موازات شاخه گسیخته شوند. مقاومت برشی یک مرجع رایج برای ارزیابی استحکام



چسبندگی چسب در چوب جامد است، زیرا بیشترین تنش سطحی را تحت شرایط بهره برداری دارد (۱۴)، بنابراین، در این مطالعه نیز مورد استفاده قرار گرفته است. نحوه بارگذاری نمونه ها در حالت کششی در شکل ۱ نشان داده شده است. از دستگاه آزمایش جهانی Shimadzu uh- 300kNA طبق روشی که در استاندارد مربوطه توضیح داده شده برای اجرای آزمایشات برشی در شرایط محیطی (۲۰°C) استفاده شد (EN 205:2016). سرعت بارگذاری ۵ mm/min بود، در حالیکه بارگذاری تا زمانی که جداسازی کامل یا شکست در سطح نمونه چسبانده شده آزمایشی رخ دهد، در عرض (۲۰±۶۰) ثانیه انجام شد. مقاومت برشی کششی (τ) با استفاده از حداکثر بار مشاهده شده در نقطه شکست (F_{max} در نیوتن) و سطح اتصال نمونه (mm²) با استفاده از معادله زیر طبق استاندارد مربوطه برآورد شد (EN 205:2016):

$$\tau = \frac{F_{max}}{A} = \frac{F_{max}}{l_2 \cdot b} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

بطوریکه F_{max} = حداکثر نیروی اعمال شده در نیوتن (N).

A = سطح آزمایشی چسبانده شده بر حسب میلی متر مربع (mm²)

l_2 = طول سطح آزمایشی چسبانده شده بر حسب میلی متر مربع (mm²)

b = عرض سطح آزمایشی چسبانده شده بر حسب میلی متر مربع (mm²).

پس از اتمام آزمایش مقاومت برشی، درصد شکست چوب، که به درصدی از سطح چسب که با چوب گسیخته شده پوشانده شده اشاره دارد، همانطور که توسط استاندارد مربوطه توصیه شده، به صورت بصری با استفاده از یک منبع نور برای روشنایی سطح اتصال در یک زاویه خاص، برآورد شد (EN 205:2016). هر دو طرف گسیختگی به همراه درصد شکست چوب تقریباً ۱۰٪ ارزیابی شد (شکل ۲). میانگین مقدار رطوبت در طی روند آزمایش ۹.۳۲٪ اندازه گیری شد.

کیفیت خطوط اتصال در نمونه های اتصالات رویهم پس از عملیات تهویه به صورت بصری ارزیابی شدند تا هرگونه تغییر چسبندگی روی آنها در مقایسه با نمونه های عمل آوری نشده که می تواند به طور بالقوه ای به عملیات تهویه نسبت داده شود، تشخیص داده شود. برای این منظور از استریوسکوپ الکترونیکی (Nikon SMZ800) با بزرگنمایی ۴۸× استفاده شد. از بسته آماری SPSS Statistics PASW 18 برای انجام آزمون های تحلیل واریانس دو طرفه (ANOVA) و کمترین تفاوت معنی دار (LSD) روی مقادیر استحکام چسبندگی برشی کششی برای تعیین تفاوت های آماری معنی دار با سطح معنی داری ۰.۰۵ (p < 0.05) بین مقادیر مقاومت متوسط دسته های مختلف نمونه های چسبانده شده استفاده شد. در مورد چسب های مختلف PVAc D3 مورد مطالعه و سه فرآیند مختلف عملیات تهویه که پس از چسبندگی اعمال می شوند، نحوه و میزان تأثیر عواملی مانند نوع برند چسب یا فرآیند عمل آوری و همچنین تعامل این عوامل، می تواند بر واریانس مقادیر استحکام چسبندگی تأثیر بگذارد.

نتایج و بحث

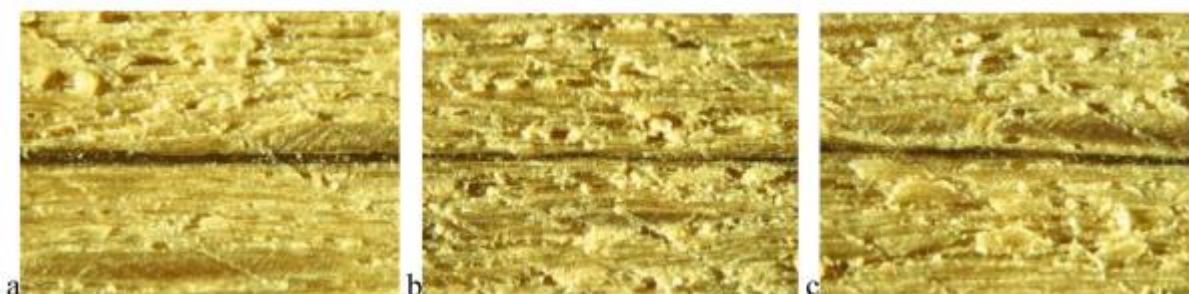
مقادیر میانگین استحکام چسبندگی برشی - کششی اندازه گیری شده بر روی بلوک های چوب راش در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود، تقریباً همه نمونه های چسب های مختلف PVAc D3، مقادیر مقاومت برشی رضایت بخشی را ارائه کردند که با معیارها و الزامات استاندارد مربوطه مطابقت داشتند که مقدار آستانه $\geq 10 \text{ N/mm}^2$ برای نمونه های عمل آوری شده در هوای استاندارد به مدت ۷ روز و $\geq 8 \text{ N/mm}^2$ برای نمونه های عمل آوری شده در هوای استاندارد، غوطه ور شده در آب به مدت ۴ روز (۲۰°C) و به مدت ۷ روز دیگر در هوای استاندارد، چسبندگی کارآمد و کیفیت مناسب چسب را اثبات کرد (۸). مقادیر انحراف معیار از نتایج مقاومت برشی تقریباً در همه موارد بسیار کم بود، تقریباً ۱۰-۱۲٪ (جدول ۲). علاوه بر این، با توجه به تجزیه و تحلیل آماری نتایج، آزمایش Levene نشان داد که فرضیه صفر که واریانس خطای متغیر وابسته (مقاومت برشی) در بین گروه ها برابر است، با توجه به سطح معنی داری $0.05 > \text{Sig. } (0.213)$ پذیرفته می شود (ششمین شرط یک ANOVA موفق).



چسب نوع C، با قرارگیری در معرض سومین فرآیند عمل آوری پس از چسباندن (۷ روز در هوای استاندارد + ۴ روز در آب $(20 \pm 5^\circ \text{C})$ + ۷ روز در هوای استاندارد) بالاترین مقدار مقاومت برشی را در بین تمام مقادیر نشان داد. این امر نشان می دهد که غوطه ور کردن نمونه ها در آب به مدت ۳ ساعت یا در برخی موارد ۴ روز (چسب های C، F_D) ممکن است تا حد کمی مقاومت برشی آنها را بهبود بخشد، حتی اگر این تفاوت ها از نظر آماری معنی دار نباشند. زیرا آزمون آماری "اثرهای بین موردی" ضریب "عملیات تهویه" را $0.1/6$ و با اهمیت $(0.05 >)$ مشخص کرد. کمترین استحکام چسبندگی برشی پس از اولین فرآیند تهویه (تهویه هفت روزه در هوای استاندارد) توسط چسب نوع D ثبت شد. بنابراین، فرآیند غوطه ور کردن نمونه ها در آب در چارچوب آزمایش مقاومت در برابر آب (تسریع فرسودگی) به نظر نمی رسد که بر مقاومت برشی نمونه ها، تاثیر قابل توجه و یا بطور خاص تاثیر منفی یا مثبت بگذارد.

با توجه به تحلیل واریانس آماری، تفاوت آماری معنی داری بین مقادیر مقاومت برشی نمونه ها مشاهده نشد، به جز مورد چسب D که کمترین مقاومت را در مقایسه با سایر چسب های مورد بررسی در این کار نشان داد و از نظر آماری با مقادیر مربوط به چسب نوع C و F تفاوت معنی داری داشت. آزمون آماری اثرهای بین موردی نشان داد که ضریب "نوع برند چسب" از نظر آماری تاثیر چندانی بر مقادیر مقاومت برشی نمونه ها ندارد؛ زیرا تنها 3.7% واریانس مقادیر مقاومت برشی به نوع چسب نسبت داده می شود. چسب D بیشترین تاثیر را بر مقادیر مقاومت برشی در بین چسب های این مطالعه نشان داد.

فاکتور "عملیات تهویه" که پس از چسباندن روی نمونه ها اعمال شد، با توجه به مدت زمان و شرایط مختلف ترکیبی از فرآیندهای تهویه و غوطه وری در آب، تاثیر آماری معنی داری بر مقادیر مقاومت برشی نشان نداد، در حالی که اثر متقابل دو فاکتور «نوع برند چسب» و «عملیات تهویه» اعمال شده پس از چسباندن، نیز بر مقادیر مقاومت برشی تاثیر معناداری نداشت.



شکل ۳. خطوط باریک پیوستگی در اتصالات رویهم چسب D (با دوام کمتر) پس از ۷ روز تهویه (a) ۷ روز در جو استاندارد + ۳ ساعت در آب $(20 \pm 5^\circ \text{C})$ + ۷ روز در جو استاندارد (b) و ۷ روز در هوای استاندارد + ۴ روز در آب $(20 \pm 5^\circ \text{C})$ + ۷ روز در هوای استاندارد (c)، (x48).



شکل ۴. خطوط باریک پیوستگی در اتصالات رویهم چسب E (با بیشترین دوام) پس از ۷ روز تهویه (a) ۷ روز در هوای استاندارد + ۳ ساعت در آب $(20 \pm 5^\circ \text{C})$ + ۷ روز در هوای استاندارد (b) و ۷ روز در هوای استاندارد + ۴ روز در آب $(20 \pm 5^\circ \text{C})$ + ۷ روز در هوای استاندارد (c)، (x48).



همانطور که نتایج این مطالعه نشان می دهد و همچنین با توجه به ارزیابی فرآیند مشاهده استریوسکوپی خطوط چسبندگی در نمونه های تست مقاومت برشی چسب D که کمترین مقاومت را نشان داده اند (شکل ۳) و نمونه هایی از چسب E که بالاترین مقاومت را در بین چسب های مورد بررسی در این مطالعه ثبت کردند (شکل ۴)، مشخص نشد که چسبندگی ها و خود مواد چسبده، تحت تأثیر عملیات مختلف تهویه ای اعمال شده، از جمله فشرده ترین عملیات که شامل غوطه وری ۴ روزه اتصالات در آب بود، قرار گرفته باشند.

مقادیر درصد "شکست چوب" که به لحاظ بصری بر روی هر یک از دو سطح بلوک های نمونه تخریب شده ارزیابی شد، تقریباً در همه موارد درصد بالایی از شکست چوب را نشان داد، به استثنای مورد چسب C که مقدار میانگین ۵۰٪ درصد شکست چوب را فقط در نمونه های اولین فرآیند تهویه اعمال شده پس از چسباندن (تهویه ۷ روزه) نشان می دهد؛ و مورد چسب B در نمونه هایی که در معرض فرآیند سوم قرار گرفته بودند (۷ روز تهویه - غوطه وری در آب به مدت ۴ روز و دوباره ۷ روز تهویه). بنابراین، تمامی چسب های PVAc D3 مورد بررسی در این مطالعه، سهولت در نحوه جابجایی و کاربرد چسب بر روی نمونه ها و همچنین نتایج مقاومت برشی کاملاً رضایت بخشی را نشان دادند که این امر کیفیت چسبندگی و عملکرد قابل قبولی را پس از هر سه فرآیند اعمال شده بر روی نمونه های بلوک پس از چسباندن، در رابطه با هوای نرمال و همچنین شرایط تست مقاومت در برابر آب آشکار ساخت، و مقاومت بالایی را در برابر شرایط محیطی با رطوبت بالا و پتانسیل استفاده در طیف وسیعی از کاربردها نشان داد.

نتیجه گیری

قابلیت چسبندگی "چوب به چوب" در چوب راش با آزمایش شش مورد از پرکاربردترین چسب های PVAc در کلاس دوام D3 در بازار مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این نتایج، همه چسب های PVAc D3 مقادیر استحکام برشی کششی رضایت بخش و درصدهای "شکست چوب" بالایی را در نمونه های اتصالات رویهم تخریب شده، مطابق با الزامات استحکام چسبندگی استاندارد مربوطه (EN 204:2016) نشان دادند و قدرت چسبندگی کارآمد و کیفیت اتصال بالای آن را برای فضای داخلی با قرارگیری مکرر و کوتاه مدت در معرض آب جاری یا تغلیظ شده و/یا قرار گرفتن در معرض رطوبت بالا و فضای ییرونی، اگرچه در معرض آب و هوا قرار نگرفته باشد، اثبات کردند.

فاکتور نوع برند چسب تأثیر معنی داری را از نظر آماری بر واریانس مقادیر مقاومت برشی نمونه ها (۷۳٪) نشان داد. فرآیند عملیات تهویه که مستقیماً پس از چسباندن بر روی نمونه ها اعمال شده بود (تهویه یا ترکیبی از تهویه و غوطه وری در آب برای ۳ ساعت یا ۴ روز) تأثیر قابل توجهی بر مقادیر مقاومت برشی نداشت، در حالی که تعامل بین این دو فاکتور (نوع چسب و فرآیند عمل آوری) نیز تأثیر قابل توجهی بر مقاومت نداشتند. نتایج این کار بر خلاف ماهیت چسب های مبتنی بر آب و ترموپلاستیک، مقاومت رضایت بخش اتصالات در برابر اثر فرسودگی را نشان می دهد، و به این ترتیب پتانسیل استفاده از این گونه چسب های سازگار با محیط زیست را افزایش داده و دامنه کاربرد این چسب های PVAc در کلاس دوام D3 که قبلاً تولید شده اند را گسترش می دهد.

تفاوت بین چسب های مورد بررسی، با توجه به هزینه و مبدا آنها بر نتایج استحکام چسبندگی تأثیری نداشت و این امر نشان می دهد که مصرف کنندگان نباید فقط بر اساس معیار قیمت، به عنوان شاخص کیفیت و عملکرد چسب، بر اساس نوع چسب برای خرید آن تصمیم بگیرند.

مطالعات بعدی در مورد PVAc موجود در بازار و انواع دیگر چسبها مطمئناً موجب بهبود قابل توجهی در حمایت از مصرف کننده، اطمینان و ایجاد فضای اعتماد بین مصرف کنندگان و تولید کنندگان چسب می شود. در تلاش برای جایگزینی چسب های مبتنی بر فرمالدئید با فرمولاسیون دارای سمیت کمتر، لازم است مطالعات بیشتری برای بررسی کامل مقاومت برشی و عملکرد اتصال چسب های PVAc انجام شود تا عملکرد آنها در شرایط مختلف محیطی مورد بررسی قرار گیرد.



مراجع

- [1] Chiozza F, Pizzo B. Innovation in poly(vinyl acetate) water resistant D3 glues used in wood industry. *Int J Adhesion Adhes* 2016;70:102–9.
- [2] Till V, Tannert T, Fecht S. Adhesively bonded connections in the context of timber engineering—A Review. *J Adhes* 2017;93(4):257–87. 2017.
- [3] Salvini A, Saija LM, Finocchiaro S, Gianni G, Giannelli C, Tondi G. A new methodology in the study of PVAc-based adhesive formulations. *J Appl Polym Sci* 2009;114(6):3841–54.
- [4] Tout R. A review of adhesives for furniture. *Int J Adhesion Adhes* 2000;20(4): 269–72.
- [5] Vassiliou V, Barboutis I, Karastergiou S. Effect of PVAc bonding on finger-joint strength of steamed and unsteamed beech wood (*Fagus sylvatica*). *J Appl Polym Sci* 2007;103:1664–9.
- [6] Dilik T, Dundar T, Kurtoglu A, Hizioglu S. Effect of adhesive types on some of the properties of laminated window profiles. *J Mater Process Technol* 2007;189(1–3): 320–4.
- [7] Zhang Y, Pang B, Yang S, Fang W, Yang S, Yuan T, Sun R. Improvement in wood bonding strength of poly(vinyl acetate-butyl acrylate) emulsion by controlling the amount of redox initiator. *Materials* 2018;11:89.
- [8] EN 204. Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications. Brussels: European Committee for Standardization CEN; 2016. 2016.
- [9] Kaboorani A, Riedl B. Improving performance of polyvinyl acetate (PVA) as a binder for wood by combination with melamine based adhesives. *Int J Adhesion Adhes* 2011;31(7):605–11.
- [10] Kamperidou V, Barboutis I. Bondability of Black locust (*Robinia pseudoacacia*) and Beech wood (*Fagus sylvatica*) with polyvinyl acetate and polyurethane adhesives. *Maderas Ciencia y tecnología* 2017;19(1):87–94.
- [11] Ors Y, Atar M, Ozciftci A. Bonding strength of poly(vinyl acetate)-based adhesives in some wood materials treated with impregnation. *J Appl Polym Sci* 2000;76: 1472–9.
- [12] Barboutis I, Vassileiou V, Karastergiou S. Bending strength properties of the fingerjointed with PVAc glue holm oakwood (*Quercus ilex*. L.). In: *Proceedings of 11th pan-hellenic Forestry conference*. Drama. Greece; 2005. p. 347–56 [in Greek].
- [13] Rodríguez-Vázquez M, Liauw CM, Allen NS, Edge M, Fontan E. Degradation and stabilisation of poly(ethylene-stat-vinyl acetate): 1 – spectroscopic and rheological examination of thermal and thermo-oxidative degradation mechanisms. *Polym Degrad Stabil* 2006;91:154–64.
- [14] Barboutis I, Vassiliou V. Bondability of Chestnut wood with PVAc Adhesives for furniture production. In: *International conference of NABYTOK 2008*. Slovakia: Technical University in Zvolen; 2008. p. 1–10.
- [15] EN 205. Adhesives. Wood adhesives for non-structural applications. Determination of tensile shear strength of lap joints. Brussels: European Committee for Standardization CEN; 2016. 2016.
- [16] ISO 13061-2:2014 Physical and mechanical properties of wood — test methods for small clear wood specimens - Part 2: determination of density for physical and mechanical tests. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2014.
- [17] ISO 13061-1:2014 Physical and mechanical properties of wood — test methods for small clear wood specimens - Part 1: determination of moisture content for physical and mechanical tests. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 2014.