Environmental Education and Sustainable Development
Second national conference on:
Environmental Science & Engineering and Sustainable Development
2020 , Tehran, Iran
هفدهم بهمن ماه ۱۳۹۸
انجمن علمی آموزش محیط زیست و توسعه پایدار ایران
دومین کنفرانس ملی علوم و مهندسی محیط زیست و توسعه پایدار
دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

جوشکاری چوب، تکنولوژی نوین و دوستدار محیط زیست در ساخت سازه‌های چوبی

پانتهآ عمرانی [۱]

[۱] استادیار گروه صنایع چوب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

pantea.omrani@gmail.com

چکیده

امروزه پیشرفت صنایع مختلف و انواع تکنولوژی‌های جدید، افزایش جمعیت، تقاضا و غیره، تأثیر منفی بر منابع طبیعی، محیط زیست و انسان داشته و می‌توانند داشته باشند. بنابراین ضروری است این پیشرفت‌ها و پاسخگویی به نیازهای انسان، در چارچوب حفظ منابع طبیعی و محیط زیست انسان صورت گیرد؛ محققان و صنعت‌گران همواره به دنبال راهکارهایی برای جایگزینی و یا کاهش آسیب‌های موارد مضرّ برای منابع طبیعی و محیط زیست می‌باشند. در این راستا محققان و پژوهشگران در صنایع مختلف چوبی و مبلمان نیز که نیاز مبرمی به استفاده از منابع طبیعی (جنگل‌ها و درختان) برای تولید محصولات مورد نظر دارند، از فعالین پیش‌رو در ارائه راهکارهایی برای حفظ این منابع ارزشمند هستند. یکی از مباحث مهم در صنعت چوب، روش ساخت اتصالات سازه‌های چوبی و مبلمان است که متأسفانه امروزه در ساخت آنها از چسب‌های مصنوعی و شیمیایی مضرّ استفاده می‌شود که برای محیط زیست و انسان خطرناک هستند. بنابراین طی چندین سال گذشته محققان روشی جدید در ساخت اتصالات چوبی ارائه نمودند که در آن از هیچ نوع چسب مصنوعی استفاده نمی‌شود. روش نوین ارائه شده، تکنولوژی جوشکاری است که با توجه به حذف چسب‌های مصنوعی از پروسه ساخت اتصالات چوبی، روشی دوست‌دار محیط زیست می‌باشد، تحقیق حاضر، معرفی و بررسی نوآوری استفاده از تکنولوژی جوشکاری در ساخت اتصالات چوبی و اهمیت و تأثیر آن بر منابع طبیعی و محیط زیست می‌باشد.

کلمات کلیدی: جوشکاری چوب، صنایع چوب، اتصالات، منابع طبیعی، محیط زیست.

۱- مقدمه

اتصالات به‌عنوان اساسی‌ترین بخش در طراحی، ساخت مبلمان و سازه‌های چوبی محسوب می‌گردند (Ferah et al, 1991). در واقع اتصالات، حلقه‌های حساس بین عناصر یک سازه هستند. اتصالات بار وارده را به‌طور پیوسته تحمل کرده و بنیان سازه را به‌وجود می‌آورند (Williamson, 2002). ازآنجائی‌که حرکت سازه‌های چوبی به سمت خرابی، از نقاط ضعف آنها نشأت می‌گیرد و این نقاط ضعف اتصالات هستند، توجه به طراحی اتصالات اهمیت می‌یابد (Eckelman, 2003). اجزای سازه‌های چوبی به روش‌های متفاوت و با اتصال‌دهنده‌های مکانیکی گوناگون (دوبل چوبی، بیسکویت، پیچ، میخ، بست و غیره) (Jones and Lutes, 1993) و به کمک و یا به‌وسیله‌ی چسب‌های چوب به هم متصل می‌شوند، که این عوامل در طراحی و ساخت سازه بسیار مهم هستند. علاوه بر این موارد، در تولید یک محصول، کیفیت و زیبایی، زمان تولید، هزینه مواد اولیه و در کل هزینه تولید بسیار مهم است.

بنابراین بحث اتصالات چوبی بسیار پیچیده، حساس و قابل تأمل است. اتصال، باید از نظر مکانیکی تحمل بارهای وارده را داشته و در اثر گذشت زمان و عوامل محیطی ضعیف نشود. بدین‌جهت نیز تحقیقاتی انجام گرفته است که دو دلیل عمده انجام این تحقیقات عبارتند از: ۱- کاربرد بهینه اتصالات جهت افزایش دوام و عمرمفید یک سازه‌ی چوبی و صرفه‌جویی در مواد اولیه؛ نتیجه این کار، کمک به حفظ و بقاء بیشتر جنگل‌ها و منابع چوبی می‌باشد؛ و ۲- ایجاد ایمنی در سازه‌های مختلف چوبی با تعیین ظرفیت تحمل بار اتصالات (عمرانی و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به اینکه بیشتر چسب‌های رایج در ساخت اتصالات چوبی، حاوی حلال‌هایی هستند که ممکن است در زمان خشک شدن چسب و یا در طول استفاده از مونتاژ چوبی در محیط، بخارهای سمی از خود ساطع کنند، بنابراین اتصالات چسبی، دوریزهای بالقوه خطرناک هستند. همچنین زمان سخت

شدن آنها زیاد بوده (تا ۲۴ ساعت) و در مقابل رطوبت، پایداری کمی دارند (عمرانی و عیسی پور، ۱۳۹۶). آلودگی هوا و شرایط کار مضرّ نیز مشکلات عمده‌ای است که باعث افزایش هزینه‌های تولید می‌شود. (Belleville et al, 2013a). از طرفی چسب‌ها وابسته به صنایع پتروشیمی هستند که بخشی از صنایع شیمیایی است که فراورده‌های شیمیایی را از مواد خام حاصل از نفت یا گاز طبیعی تولید می‌کند. بنابراین استفاده از چسب‌ها، محصول نهایی را از نظر محیط زیست و اقتصادی گران می‌کنند؛ همچنین آنها یک مشکل بازیافت را به‌وجود می‌آورند، زیرا آنها منبع آلودگی در روش‌های انرژی زیست توده و بازیافت ضایعات چوبی در نظر گرفته می‌شوند (Gilbert 2005; Vallée and Buelna 2006). لذا استفاده از چسب‌ها در ساخت سازه‌های چوبی مشکلاتی را به دنبال خواهد داشت.

با توجه به مطالب و موارد بیان شده، روش نوینی برای اتصال قطعات چوب به یکدیگر ثبت و اختراع شده است به نام "جوشکاری چوب". تا قبل از پیدایش تکنولوژی جدید جوشکاری چوب، هیچ اختراعی در زمینه کاهش گسترده کاربرد چسب‌ها در صنایع چوب صورت نپذیرفته بود (عمرانی و عیسی پور، ۱۳۹۶). این تکنیک شامل مونتاژ قطعات چوب ماسیو به‌وسیله ذوب‌شدن اجزای چوب سطوح تماس بدون مداخله هیچ چسب مصنوعی است. این جایگزین محیط زیستی برای قاب‌سازی و مونتاژ اجزای چوب، پیشنهاد بالقوه برای افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها در صنعت چوب است. (Gilbert, 2005; Vallée and Buelna, 2006). جوشکاری چوب، با امکان حذف برخی اتصال‌دهنده‌ها از قبیل چسب‌های مصنوعی سبب کاهش آلایندگی و هزینه‌های تولیدی می‌شود. کاهش زمان ساخت اتصال از چندین ساعت به کمتر از یک دقیقه نیز از مزایای مهم این روش است که زمان و بنابراین هزینه تولید را کاهش می‌دهد. (عمرانی و همکاران، ۱۳۹۶). جوشکاری چرخشی دوبل چوبی [که یکی از پرکاربردترین روش‌های جوشکاری چوب است]، می‌تواند یک جایگزین کارآمد برای صنعت مبلمان باشد. این روش نشان داده است که به سرعت در حال تولید اتصالات چوب با مقاومت قابل توجه و بدون هیچ گونه چسبی است (Pizzi et al, 2004; Ganne-Chedéville et al, 2005; Belleville et al, 2011). همچنین می‌تواند بهره‌وری را افزایش و هزینه‌های مربوط به چسب پتروشیمی را کاهش دهد. از طرفی روش دوست‌دار محیط زیست بوده و بازیافت محصولات نیز بی‌خطر است. Pizzi و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیقات خود نشان دادند که اتصال‌های دو قطعه چوبی حاصل از قرار دادن و جوشکاری بدون چسب دوبل‌ها با سرعت بالا، نسبت به اتصال‌های حاصل از چسباندن با پلی‌وینیل استات[1] (PVAc) مقاومت‌های بیشتری دارند. این می‌تواند بیانگر افزایش عمر محصول ساخته شده باشد که بر کاهش مصرف منابع طبیعی و به عبارتی حفظ بیشتر منابع طبیعی و محیط زیست مؤثر خواهد بود. بنابراین تکنولوژی جوشکاری چوب، می‌تواند بیشتر معایب ذکر شده در استفاده از چسب‌ها برای ساخت اتصال‌های چوبی را رفع نموده و علاوه‌بر آن در حفظ بیشتر منابع طبیعی و محیط زیست نیز بسیار مفید واقع گردد.

ازآنجائی‌که با استفاده از روش جوشکاری چوب در سازه‌های چوبی و مبلمان، دستیابی به کیفیت بالای زیست محیطی به دلیل عدم استفاده از چسب و مواد ثانویه مضرّ برای محیط زیست و سلامتی انسان و نیز فواید دیگر بیان شده امکان‌پذیر می‌باشد، و با توجه به اینکه جوشکاری چوب یک تکنولوژی نوین و کاربردی در عرصه منابع طبیعی می‌باشد، بنابراین هنوز سؤالات بیشماری در این زمینه برای محققین مطرح بوده و هست (عمرانی، ۱۳۹۴). در این مطالعه مروری، به بررسی کلی تحقیقات صورت گرفته در این زمینه پرداخته شده است.

۲- متن

۲-۱- تاریخچه جوشکاری چوب

تکنولوژی جدیدی که طی چند سال اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است، تکنولوژی جوشکاری چوب است. استفاده از فرایند جوشکاری چوب بدون هیچ افزودنی به چوب تا سال ۱۹۹۶، زمانی‌که Suthoff و همکاران کار ثبت اختراع آن را در آلمان انجام دادند، دیده نشده بود. این اختراع و ثبت اختراع بعدی (Suthoff et al, 1997) در ابتدا نشان دادند که چوب می‌تواند با استفاده از یک حرکت ارتعاشی یا اصطکاک خطی جوش داده شود و سپس برای اولین بار امکان اتصال قطعات چوب با یک دوبل را ارائه نمودند. از سال ۲۰۰۰، مؤسسه تکنولوژی فدرال لوزان

[1]- Polyvinyl acetate

سوئیس[1] (IBOIS) در حال تحقیق و توسعه روش متصل کردن چوب با استفاده از جوشکاری اصطکاکی بدون اضافه کردن هیچگونه چسبی است (Gliniorz and Natterer, 2000 و Gliniorz et al, 2001). از سال ۲۰۰۳، یک تیم مشترک سوئیسی- فرانسوی به رهبری Pizzi از فرانسه و Gfeller از سوئیس، این تکنولوژی را با انواع مختلف ماشین جوشکاری مورد مطالعه و تجزیه و تحلیل قرار داده و آن را به‌طور قابل توجهی بهبود داده‌اند. Gfeller و همکاران (۲۰۰۳) فرایند جوشکاری خطی چوب را مورد بررسی قرار داد. اولین تحقیقات علمی جامع بر روی جوشکاری چرخشی چوب، بدون استفاده از چسب نیز، توسط Pizzi و همکاران (۲۰۰۴) مطرح گردید. از آن پس نیز این تکنولوژی توسط دیگر محققان در حال پیشرفت و توسعه می‌باشد. به‌طوری‌که عمرانی و همکاران نیز طی سال‌های بعد (۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰) مقالات متعددی را در این زمینه در مجلات معتبر خارجی ارائه و منتشر نموده‌اند.

۲-۲- انواع روش‌های جوشکاری چوب

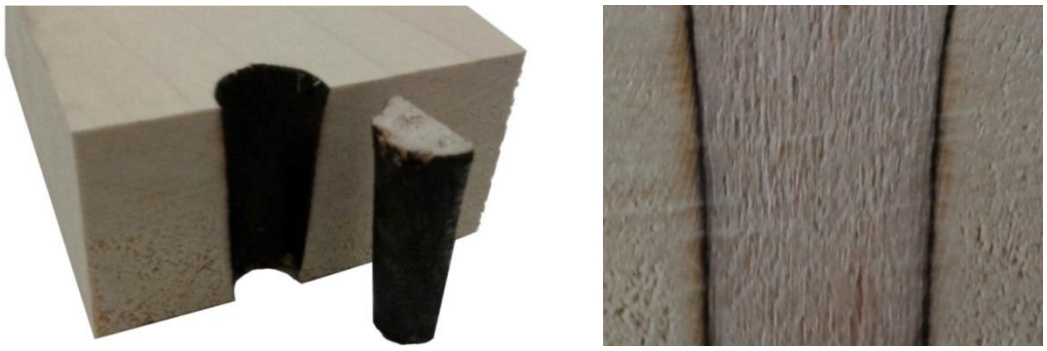
تکنولوژی جوشکاری چوب، معرفی کننده بالاترین کیفیت زیست محیطی است چراکه مونتاژهای حاصل از این فرایند منحصراً در یک پروسه ترمودینامیک تهیه می‌شوند. روش‌های جوشکاری اصطکاکی ناشی از فرایند مکانیکی برای اتصال چوب بدون استفاده از هرگونه چسب اعمال شده است. چندین روش جوشکاری برای چوب ماسیو مانند جوشکاری خطی یا ارتعاشی (Gfeller et al, 2003; Leban et al, 2004; Omrani et al, 2009a; Omrani et al, 2009b)، جوشکاری چرخشی یا دورانی دوبل (Pizzi et al, 2004; Auchet et al, 2010)، جوشکاری اوربیتال (Stamm et al, 2005a)، و جوشکاری اسپیندل و جوشکاری اولتراسونیک چوب (Tondi et al, 2007) منتشر شده است. تمام این روش‌ها به مقدار اصطکاک در سطوح چوب جوش داده شده برای رسیدن به افزایش درجه حرارت و ذوب ماده بین سلولی و در نتیجه جوشکاری بین سطحی، تکیه دارد. اما بیشتر از همه، روش‌های جوشکاری خطی و جوشکاری چرخشی دوبل (مورد بررسی در این مطالعه) مورد توجه محققین قرار گرفته و بررسی شده است.

۲-۳- ماهیت روش جوشکاری چوب

جوشکاری چوب به عنوان یک تکنولوژی جدید در عرصه صنعت چوب، به دلیل حذف هر نوع اتصال‌دهنده از قبیل چسب، پیچ، میخ، بست و غیره، شرایط تولید محصولات چوبی را بهبود می‌بخشد. همچنین این تکنولوژی جدید، محصولاتی بی‌خطر برای انسان و محیط زیست ارائه می‌دهد، چرا که این روش جدید اتصال، تنها با به‌کارگیری یک پروسه‌ی اصطکاک بین دو قطعه‌ی چوبی، امکان‌پذیر می‌باشد.

جوشکاری اصطکاکی چوب فرایندی است که باعث واکنش‌های شیمیایی و فیزیکی می‌شود. حرارت، که نتیجه اصطکاک است، ساختار چوب را نرم و ذوب می‌کند. منظور از ساختار چوب، مواد تشکیل‌دهنده‌ی دیواره‌های الیاف چوبی، عمدتاً لیگنین و البته مقداری همی‌سلولز می‌باشد. ذوب این پلیمرهای آمورف، سبب جریان یافتن آن‌ها در سطح جوشکاری شده می‌شود که پس از خنک شدن، این مواد به یک ترکیب بسیار سخت تبدیل می‌شوند. تغییرات شیمیایی با جوشکاری شروع می‌شود و بعد از اتمام فرایند ادامه می‌یابد (درحین اینکه مواد مذاب جامد می‌شوند)، ساختار چوب سرد و یک ترکیب سخت تشکیل می‌شود (Župčić et al, 2014). در واقع اساس فرایند جوشکاری چوب، ذوب و شارش مواد تشکیل‌دهنده‌ی دیواره‌های الیاف چوبی، عمدتاً لیگنین و تا حدی همی‌سلولز است که در دمای بیش از ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد (Kanazawa et al, 2005)؛ مواد ذوب شده بین دو قطعه جوشکاری شده پس از خنک شدن، سخت شده و اتصال مقاومی را ایجاد می‌کند. شکل ۱، برش طولی از یک اتصال دوبل جوشکاری شده را نشان می‌دهد. جوشکاری چوب، نسبت به چسباندن و اتصال‌دهنده‌های مکانیکی مزایایی مانند: کوتاه شدن زمان سخت شدن (کمتر از یک دقیقه)، هزینه کم و مقرون به‌صرفه بودن را در بر دارد. بنابراین می‌توان ادعا کرد که تکنولوژی جوشکاری چوب، معرفی‌کننده بالاترین کیفیت زیست محیطی است.

[1]- Swiss Federal Institute of Technology Lausanne



شکل ۱- برش طولی از یک اتصال دوبل جوشکاری شده؛ منبع: عمرانی و عیسی‌پور (۱۳۹۶)

۲-۴- تغییرات شیمیایی ناشی از جوشکاری چوب

اعتقاد بر این است که واکنش‌های شیمیایی پیچیده در شکل‌گیری اتصال جوشکاری شده، مشابه روش‌های پیچیده‌ای است که در فرایندهای پیرولیتیک[1] رخ می‌دهند. در واقع، پیرولیز تبدیل یک ترکیب غیر فرار به یک مخلوط تخریبی فرار توسط حرارت در غیاب اکسیژن است. اجزای چوب که ابتدا تحت تأثیر افزایش دما قرار می‌گیرند، همی‌سلولزها (بیشتر قندهای C5 (پنتوزان‌ها) در پهن‌برگان)، بلکه C6 (هگزوزان‌ها) هستند، که تخریب آنها از حدود ۱۰۰ درجه سانتیگراد شروع می‌شود. کاهش وزن همی‌سلولزها عمدتاً در محدوده دمای ۳۱۵-۲۲۰ درجه سانتیگراد است. واضح است که گروه‌های شیمیایی O- استیل نقش مهمی در پایداری حرارتی همی‌سلول‌ها ایفا می‌کنند، زیرا آنها اسید استیک را تولید می‌کنند که پس از آن می‌تواند دپلیمریزاسیون را تسریع کند. دپلیمریزاسیون همی‌سلولز منجر به تشکیل الیگوساکاریدها و منوساکاریدها، آب‌زدایی بعد از ایجاد فورفورال و ۵-هیدروکسی متیل فورفورال می‌شود (Fengel and Wegener, 1989). سلولز دارای بیشترین ثبات حرارتی در ترکیب چوب است که ناشی از بلوری بودن بالای آن است. اگر چه تخریب آن در دمای بالاتر رخ می‌دهد، تغییرات حرارتی در ناحیه آمورف سلولز شبیه به همی‌سلولز است. سلولز بلورین[2] در ۳۴۰-۳۰۰ درجه سانتیگراد تخریب می‌شود (Kim er al, 2001). محصولات تخریب حرارتی سلولز عبارت‌اند از: لِووگلوکوزان و فوران و ترکیبات مشتق شده از آن. به‌طورکلی اثرات بر روی لیگنین در دمای پایین‌تر از سلولز و همی سلولز شروع می‌شود و در محدوده دمایی نسبتاً وسیع قرار دارد. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که واکنش‌های گرماگیر از ۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد رخ می‌دهد (Nassar and Mackay, 1984) و باززایی یا بازسازی لیگنین در طی نرم شدن ناشی از حرارت، یک واکنش کوچک حرارت‌زا در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد است.

با این حال، تنها چند تحقیق شیمیایی در مورد خود فرایند تا کنون انجام شده است و اکثر واکنش‌های شیمیایی و بازسازی که در پلیمرهای طبیعی تشکیل‌دهنده‌ی چوب رخ می‌دهد، به خوبی درک نمی‌شوند. . در مطالعه‌ای، Sun و همکاران (۲۰۱۰) تغییرات شیمیایی در خط اتصال جوشکاری دوبل چوبی در گونه‌های افرای قندی (*Acer saccharum*) و توس زرد (*Betula alleghaniensis*) را مورد بررسی قرار دادند. تجزیه و تحلیل‌های انجام شده به صورت جداگانه بر چوب پایه (عضو اتصال) و مواد جوش داده شده نشان داد که تفاوت‌های عملکرد مکانیکی دو چوب جوشکاری شده عمدتاً به تفاوت در ساختار اصلی لیگنین و همچنین درجه حرارت جوشکاری مربوط می‌باشد.

ماهیت گوایاسیلی برجسته‌تر لیگنین افرا در مقابل توس می‌تواند واکنش‌های ترجیحاً تراکمی بخش‌های گوایاسیل را در لیگنین افرا به اثبات برساند و ترکیبات فرمالدئید و فورانیک آزاد شده از لیگنین و کربوهیدرات‌ها را در طی فرایند تشریح کند درجه حرارت بالاتر تعیین شده برای جوشکاری چوب افرا نسبت به توس می‌تواند منجر به افزایش‌پذیری پلیمرهای چوب در منطقه جوشکاری، و در نتیجه، حضور معنی‌داری از پلیمر زایلن همراه با تجمع جدید کربوهیدرات لیگنین[3] (LCC) در مواد جوش داده شده شود. به نظر نویسندگان، برای هر دو گونه چوب مورد مطالعه در این تحقیق،

---

[1]- Pyrolytic processes
[2]- Crystalline cellulose
[3]- lignin carbohydrate complex (LCC)

لیگنین مهم‌ترین ترکیب چوب برای جوشکاری موفق است. بنابراین نتایج این مطالعه به وضوح نشان داد که تفاوت در ترکیب پلیمر چوب بر عملکرد چوب در فرآیند جوشکاری و در نتیجه خواص مکانیکی مواد جوشکاری شده تأثیر می‌گذارد. همچنین Belleville و همکاران (۲۰۱۳b) تغییرات ترموشیمیائی در طی جوشکاری دوبل چوب در دو گونه پهن‌برگ کانادایی، افرای قندی (*Acer saccharum*) و توس زرد (*Betula alleghaniensis*) را که معمولاً برای استفاده در کاربردهای داخلی ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرند، مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که جوشکاری حرارتی چوب‌های توس و افرا، همی‌سلولز را تخریب می‌کند و از طریق دپلیمریزاسیون، پلیمر لیگنین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین اثر بخشی جوشکاری به‌طور مستقیم مربوط به خواص اجزای اصلی چوب یعنی در مرحله اول لیگنین و سپس کربوهیدرات‌ها است. تغییرات مربوط به لیگنین در خط اتصال جوشکاری برای افرای قندی بیشتر از توس زرد بود، که اختلاف ویژگی‌های مکانیکی بین این دو گونه را تأیید می‌کند.

۲-۵- بی خطر بودن روش جوشکاری چوب برای محیط زیست و انسان

در ابتدای تحقیقات جوشکاری چوب، یکی از مهم‌ترین سؤالات در خصوص این تکنولوژی جدید، دود حاصل از فرایند جوشکاری بود. فرایند جوشکاری چرخشی باعث تولید انتشار گاز و منجر به تجزیه اجزای پلیمری متصاعد شونده در چوب می‌شود (Omrani et al, 2008a). همچنین Omrani و همکاران (۲۰۰۸a) نشان دادند که پروسه جوشکاری چوب، فرایندی سالم و بی‌خطر برای انسان و محیط زیست است. در واقع با آنالیز مواد فرّار و گازهای ناشی از دود جوشکاری چوب، در راش و نوئل نشان دادند که محتویات دود حاصل از جوشکاری، بخار آب، دی‌اکسید کربن (CO_2) و مقداری ترکیبات تخریب شده از کربوهیدرات‌های پلیمری چوب و لیگنین‌های آمورف هستند و البته ترپن‌های فرّار برای سوزنی‌برگان. کربوهیدرات‌های اصلی که در ترکیبات فرّار وجود دارند، گزیلن‌ها برای راش و گلوکومانان‌ها برای نوئل هستند. نسبت CO_2 منتشر شده بسیار کم است و هیچ CO و متانی نیز مشاهده و منتشر نشده است. Belleville و همکاران (۲۰۱۳b) نیز تغییرات ترموشیمیائی در طی جوشکاری دوبل چوب در دو گونه پهن‌برگ کانادایی: افرای قندی (*Acer saccharum*) و توس زرد (*Betula alleghaniensis*) را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش گازهایی که طی جوشکاری چوب منتشر شده توسط پیرولیز-کروماتوگرافی طیف‌سنج جرمی Py-GC/MS و کروماتوگرافی گاز همراه با یک آشکارساز هدایت حرارتی و آشکارساز یونیزاسیون شعله[1] (GC-TCD / FID) تعیین شد. نتایج انتشار گاز، نسبت‌های مشابه گازهای غیرمتراکم برای دو گونه مورد مطالعه را نشان داد. بیشتر ترکیبات فرار شناسایی شده در طی پیرولیز، محصولات غیرسمّی حاصل از تخریب پلیمرهای چوب بودند. ترکیب این NCG نزدیک به ترکیب موجود در هوای خالص بود. هیچ مونوکسید کربنی در طی جوشکاری تولید نشده و تنها مقدار کمی هیدروژن و دی‌اکسید کربن وجود داشت. دانش موجود در ترکیبات آلی فرار[2] (VOCs) اطلاعات ارزشمندی برای بازرسی‌های ایمنی هوا فراهم می‌کند. نسبت VOCs تشخیص داده شده نسبتاً کم و کمتر از حدّ قابل ارائه است. ازاین‌رو، جوشکاری چوب، یک تکنیک محیط زیستی مناسب برای مونتاژ اجزای مبلمان و سایر کاربردها است، و برای سلامت انسان مضرّ نیست.

Stamm و همکاران (۲۰۰۵b)، در تحقیقات خود گزارش کردند که تکنولوژی جوشکاری چوب به دلیل استفاده از مواد طبیعی، سازگار با محیط زیست است. بازیافت یا سوزاندن محصولات جوشکاری شده منجر به آزادشدن ترکیبات سمی نمی‌شود و احتراق محصولاتی که به این طریق متصل می‌شوند، برای سلامتی انسان بی‌خطر است. Dumitrașcu و Bădescu (۲۰۱۳) و Hahn (۲۰۱۴) نیز بیان داشته‌اند که قطعات جوش داده شده را می‌توان به راحتی دوباره در پایان عمر خود استفاده کرد؛ زیرا هیچ ماده‌ی دیگری برای اتصال در آن استفاده نمی‌شود.

۲-۶- مقاومت به آب و شرایط جوی خارجی (غیر سرپوشیده)

[1]- Gas chromatography - thermal conductivity detector / flame ionization detector (GC-TCD/FID)
[2]- Volatile organic compounds (VOCs)

یکی از موارد مهم در مقاومت اتصالات چوبی، مقاومت آنها به رطوبت یا آب و یا قرارگیری در فضای خارجی ساختمان است. چسب‌های چوب مصرفی در ساخت اتصالات چوبی مثل PVAc مقاومت کمی نسبت به رطوبت دارند که این امر مقاومت سازه ساخته شده را کاهش می‌دهد. این مسئله در روش نوین جوشکاری چوب نیز مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. در این راستا Omrani و همکاران (۲۰۰۷) با ارائه یک مدل زیگزاگ و استفاده از روش جوشکاری چوب، به‌منظور اتصال لب به لب بین دو تخته چوبی، نشان دادند که این اتصال‌ها بدون استفاده از هر نوع چسبی، با وجود ۲ ساعت جوشیدن در آب دارای مقاومت مکانیکی قابل توجهی هستند. Rodriguez و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی به بررسی امکان استفاده از روش جوشکاری چرخشی دوبل چوبی با سرعت بالا در دو گونه پهن‌برگ کانادایی، یعنی افرای قندی (*Acer saccharum*) و توس زرد (*Betula alleghaniensis*) پرداختند. نتایج نشان داد که اتصال‌های جوش داده شده چوب، مقاومت آب بیشتری نسبت به اتصال چسب‌دار خود (PVAc) داشتند. در تحقیقی دیگر، Omrani و همکاران (۲۰۰۸b) نشان دادند اتصال‌های جوشکاری شده با وجود قرارگیری در معرض شرایط جوی غیرسرپوشیده به مدت یک سال، دارای مقاومت‌های مکانیکی مناسبی می‌باشند.

۲-۷- ساخت سازه با روش جوشکاری چوب

تحقیقات نشان داده است که روش جوشکاری دوبل چوبی می‌تواند اتصالاتی مقاوم‌تر از اتصالات ساخته شده با چسب ایجاد نماید. در این راستا Renaud (۲۰۰۹)، برای اولین بار امکان ساخت صندلی مینیمالیستی طراحی شده توسط معمار هلندی Gerrit T. Rietveld (1888-1964) (یک صندلی Z شکل) را بدون چسب و هیچ فلز و نگهدارنده‌ی زاویه فراهم و آن را فقط با استفاده از جوشکاری دوبل‌های چوبی و ارائه یک اتصال با زاویه تمیز ساخت. O'Loinsigh و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقات خود نشان دادند که تیرهای چوبی لایه‌ای با دوبل‌های چوبی جوشکاری شده، می‌تواند جایگزین جالبی برای سیستم‌های مرسوم دوبل‌های چسب شده با پلی‌وینیل استات (PVAc) و میخ‌کاری باشد. همچنین امکان ساخت و نصب پارکت‌های چوبی با استفاده از تکنولوژی جوشکاری توسط عمرانی (۱۳۹۵) مورد مطالعه قرار گرفته است که شکل ۲، نماهایی از پارکت چوبی ساخته شده به روش جوشکاری چوب را نشان می‌دهد.

نمای زیر پارکت چوبی — نمای روی پارکت چوبی — نمای عرضی پارکت چوبی

شکل ۲- نماهایی از پارکت چوبی ساخته‌شده به روش جوشکاری چوب؛ منبع: عمرانی (۱۳۹۵)

۳- نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف بررسی اهمیت کاربرد تکنولوژی جوشکاری به عنوان روشی نوین در ساخت اتصالات چوبی و تأثیر آن بر منابع طبیعی، محیط زیست و انسان انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که این روش جدید اتصال، تنها با به‌کارگیری یک پروسه‌ی اصطکاک بین دو قطعه‌ی چوبی یا دوبل چوبی و چوب پایه، بدون چسب مصنوعی امکان‌پذیر می‌باشد که در نتیجه آن ساختار چوب یا به‌عبارتی مواد تشکیل‌دهنده‌ی دیواره‌های الیاف چوبی، عمدتاً لیگنین و البته مقداری همی‌سلولز نرم و ذوب می‌شوند. ذوب این پلیمرهای آمورف، سبب جریان یافتن آن‌ها در سطح جوشکاری شده می‌شود که پس از خنک شدن، این مواد به یک ترکیب بسیار

سخت تبدیل شده و اتصال مقاومی را ایجاد می‌نماید. نتایج نشان می‌دهد که این روش به دلیل حذف چسب که دارای آلایندگی و برای محیط زیست و انسان مضرّ بوده است، و از طرفی طبیعی بودن اتصال با توجه به استفاده از ترکیبات طبیعی چوب، روشی دوست‌دار محیط زیست و بی‌خطر برای انسان است. نتایج نشان داده است که روش جوشکاری چوب به عنوان یک تکنولوژی جدید در عرصه صنعت چوب، به دلیل حذف هر نوع اتصال‌دهنده از قبیل چسب، پیچ، میخ، بست و غیره، شرایط تولید محصولات چوبی را با کاهش زمان سخت شدن چسب به کمتر از یک دقیقه، حذف هزینه تهیه چسب (به نوعی حذف وابستگی به صنعت پتروشیمی) و حذف آلایندگی چسب، بهبود می‌بخشد، که این امر می‌تواند منجر به تولید محصولات رقابتی و مزایای قابل توجه اقتصادی، محیط زیستی و فنی برای محصولات صنایع چوب می‌شود. همچنین نتایج نشان داده است که اتصالات چوبی ساخته شده با روش جوشکاری مقاومت بیشتری از اتصالات ساخته شده با چسب دارند. بنابراین استفاده از روش جوشکاری چوب منجر به بهینه‌سازی اتصالات جهت افزایش دوام و عمر مفید یک سازه‌ی چوبی و صرفه‌جویی در مواد اولیه می‌شود که نتیجه آن کمک به حفظ و بقاء بیشتر جنگل‌ها و منابع چوبی می‌باشد. در نهایت می‌توان گفت ازآنجائی‌که با استفاده از روش جوشکاری چوب در سازه‌های چوبی و مبلمان، دستیابی به کیفیت بالای زیست محیطی به دلیل عدم استفاده از چسب و مواد ثانویه مضرّ برای محیط زیست و سلامتی انسان و نیز فواید دیگر بیان شده و با توجه به اینکه جوشکاری چوب یک تکنولوژی نوین و کاربردی در عرصه منابع طبیعی می‌باشد، هنوز سؤالات بیشماری در این زمینه برای محققین مطرح بوده و می‌باشد و نیاز است برای توسعه و کاربرد بیشتر این تکنولوژی در صنعت چوب، به‌خصوص در ایران، تحقیقات بیشتر و گسترده‌تری در این زمینه صورت گیرد.

منابع

- عمرانی، پانته‌آ و عیسی پور، رضا، بررسی و مقایسه مقاومت کششی اتصالات دوبل چوب پهن‌برگ، ساخته شده به دو روش اتصال با چسب و جوشکاری، فصلنامه علمی- پژوهشی علوم چوب و کاغذ ایران، دوره ۳۲، شماره سوم (۶۰)، پائیز ۱۳۹۶، ۳۹۱-۳۸۲.

- عمرانی، پانته‌آ، مریمی، هادی و عیسی پور، رضا، بررسی اثر قطر و سطح دوبل در اتصالات چوب سوزنی‌برگ، ساخته شده به دو روش جوشکاری و اتصال با چسب، فصلنامه علمی- پژوهشی علوم چوب و کاغذ ایران، دوره ۳۲، شماره چهارم (۶۱)، زمستان ۱۳۹۶، ۶۰۵-۵۹۸.

- عمرانی، پانته‌آ، جوشکاری چوب. مجله دکومان، نشریه تخصصی مبلمان، معماری و دکوراسیون داخلی، شماره ۲۲، ۱۳۹۴، ۷۲-۷۰.

- عمرانی، پانته‌آ، امکان ساخت و نصب پارکت‌های چوبی با استفاده از تکنولوژی جوشکاری. نهمین کنفرانس بین المللی تجارت جهانی مبلمان، طراحی، هنر، دکوراسیون و صنایع وابسته، آذر ۱۳۹۵.

- Eckelman, C.A. (2003). Textbook of product engineering and strength design of furniture. West Lafayette (IN): Purdue University Press.
- Fengel, D. and Wegener, G. (1989). Wood: Chemistry, Ultrastructure and Reactions. Walter De Gruyter, Berlin.
- Ferah, O. (1991). Determination of Nail and Screw Withdrawal Resistance of Some Important Wood Species. Report for the Institute of Forestry Resource, Ankara, Turkey, Technical Note No. 252 p.
- Jones, A. and Lutes, R. (1993). Handbook of joinery, New York, USA, Sterling Press.
- Stamm, B., Natterer, J. and Navi, P. (2005a). Joining wood by friction welding. Holz Roh Werkstoff, 63:313–320.
- Williamson, T.G. (ed). (2002). APA Engineered wood handbook, McGraw-Hill, New York.
- Auchet, S., Segovia, C., Mansouri, H.R., Meausoone, P.J., Pizzi, A. and Omrani., P. (2010). Accelerating vs constant rate of insertion in wood dowel welding. Journal of Adhesion Science and Technology, 24(7), 1319-1328.
- Belleville B, Segovia C, Pizzi A, Stevanovic T, Cloutier A. (2011). Wood blockboards fabricated by rotational dowel welding. Journal of Adhesion Science and Technology. 25:2745–2753.
- Belleville, B., Stevanovic, T., Pizzi, A., Cloutier, A. and Blanchet, P. (2013a) Determination of optimal wood-dowel welding parameters for two North American hardwood species. Journal of Adhesion Science and Technology, 27(5–6):566–576.
- Belleville, B., Stevanovic, T., Cloutier, A., Pizzi, A., Prado, M., Erakovic, S., Diouf, P.N. and Royer, M. (2013b). An investigation of thermochemical changes in Canadian hardwood species during wood welding. European Journal of Wood and Wood Products, 71(2), 245–257.

- Ganne-Chedéville, C., Pizzi, A., Thomas, A., Leban, J.M., Bocquet, J.F., Despres, A. and Mansouri, H.R. (2005). Parameter interactions in two-block welding and the wood nail concept in wood dowel welding. Journal of Adhesion Science and Technology, 19:1157–74.
- Gfeller, B., Zanetti, M., Properzi, M., Pizzi, A., Pichelin, F., Lehmann, M. and Delmotte, L. (2003). Wood bonding by vibrational welding. Journal of Adhesion Science and Technology, 17: 1573-1589.
- Gliniorz, K.U., Mohr, S., Natterer, J. and Navi, P. (2001). Wood Welding. Proceedings of the 1st International Conference of the European Society for Wood Mechanics, Lausanne, Switzerland, 571-574.
- Kanazawa, F., Pizzi, A., Properzi, M., Delmotte, L. and Pichelin, F. (2005). Parameters influencing wood-dowel welding by high-speed rotation. Journal of Adhesion Science and Technology, 19(12):1025-1038.
- Kim, D. Y., Nishiyama, Y., Wada, M., Kuga, S.and Okano, T. (2001). Thermal decomposition of cellulose crystallites in wood. Holzforschung, 55:521–524.
- Leban, J.M., Pizzi, A., Wieland, S., Zanetti, M., Properzi, M. and Pichelin, F. (2004). X-ray microdensitometry analysis of vibration-welded wood. Journal of Adhesion Science and Technology, 18: 673–685.
- Nassar, M.M. and Mackay, G. D. M. (1984). Wood Fiber Science, 16:441-453.
- O'Loinsigh, C., Oudjene, M., Shotton, E., Pizzi, A. and Fanning, P., (2011). Mechanical behavior and 3D stress analysis of multi-layered wooden beams made with welded-through wood dowels. Composite Structures, 94(2):313-321.
- Omrani, P., Bocquet, J., pizzi, A., Leban, J. and Mansouri, H.R., (2007). Zig-zag rotational dowel welding for exterior wood joints. Journal of Adhesion Science and Technology, 21(10):923-933.
- Omrani, P., Masson, E., pizzi, A. and Mansouri, H.R., (2008a). Emission of gases and degradation volatiles from polymeric wood constituents in friction welding of wood dowels. Polymer Degradation and Stability, 93(4):794-799.
- Omrani, P., Mansouri, H.R. and pizzi, A. (2008b). Weather exposure durability of welded dowel joints. Holz Roh Werkstoff, 66(2):161-162.
- Omrani, P., Mansouri, H.R. and Pizzi, A. (2009b). Linear welding of grooved wood surfaces. European Journal of Wood and Wood Products, 67(4):479-481.
- Omrani, P., Pizzi, A., Mansouri, H.R., Leban, J.M. and Delmotte, L. (2009a). Physico-chemical causes of the extent of water resistance of linearly welded wood joints. Journal of Adhesion Science and Technology, 23 (6):827-837.
- Pizzi, A., Leban, J.M., Kanazawa, F., Properzi, M. and Pichelin, F. (2004). Wood dowel bonding by high-speed rotation welding. Journal of Adhesion Science and Technology, 18(11):1263-1278.
- Pizzi, A., Despres, A., Mansouri, H.R., Leban, J.M. and Rigolet, S. (2006). Wood joints by through-dowel rotation welding: microstructure, 13C-NMR and water resistance. Journal of Adhesion Science and Technology, 20(5):427–436.
- Renaud, A., 2009. Minimalist Z chair assembly by rotational dowel welding. European Journal of Wood and Wood Products, 67(1):111-112.
- Rodriguez, G., Diouf, P., Blanchet, P. and Stevanovic, T. (2010). Wood dowel bonding by high-speed rotation welding – Application to two Canadian hardwood species. Journal of Adhesion Science and Technology. 24(8-10):1423–1436.
- Stamm, B., Natterer, J. and Navi, P. (2005b). Joining of wood layers by friction welding. Journal of Adhesion Science and Technology, 19(13-14):1129-1139.
- Sun, Y., Royer, M., Diouf, P. and Stevanovic, T. (2010). Chemical changes induced by high-speed rotation welding of wood–application to two Canadian hardwood species. Journal of Adhesion Science and Technology, 24(8–10):1383–1400.
- Tondi, G., Andrews, S., Pizzi, A. and Leban, J.M. (2007). Journal of Adhesion Science and Technology, 21, 1633–1643.
- Župčić, I., Vlaović, Z., Domljan, D. and Grbac, I. (2014). Influence of Various Wood Species and Cross-Sectionson Strength of a Dowel Welding Joint. Drvna Industrija, 65(2):121-127.
- Dumitraşcu, R.E. and Bădescu, LAM. 2013. Contribuţii teoretice şi experimentale la biofizica unor structuri inovative realizate prin sudarea lemnului. Grant Posdru-134378, Braşov- Romania.
- Gilbert, V. (2005). Caractérisation des résidus provenant de l'industrie de la seconde transformation des panneaux de particules et de fibres. Dissertation, Université Laval.
- Gliniorz, K.U. and Natterer, J. (2000). Holzschweiβen – Innovative Verbindungs-technologien in Holzbau. Symposium der ligna Plus/Weltmesse fur die Forst- und Holzwirtschaft in Hannover, 9-18.
- Hahn, B. (2014). Friction welding of wood - A fast, adhesive-free bonding technology for prefabricated elements in timber construction. École polytechnique fédérale de Lausanne.
- Vallée, V. and Buelna, G. (2006). La valorisation des résidus de panneaux à base de bois Centre de recherche industrielle du Québec, Innovations technologiques – TE. http://www.icriq.com/fr/productique_tfp.html/-/asset_publisher/n2sB/content/la-valorisation-des-residus-de-panneaux-a-base-de-bois/maximized.
- Sutthoff, B., Franz, U., Hentschel, H. and Schaaf, A. (1996). Verfahren zum reibschweissartigen Fügen und Verbinden von Holz. Germany, Patent DE 196 20 273 C2.
- Sutthoff, B., Kutzer, H.J. (1997). Verfahren zum reibschweißartigen Fügen von Holz. Germany, Patent DE 197 46 782 A1.