بورات‌ها و کاربرد آن‌ها در حفاظت فرآورده‌های مرکب چوبی

داود افهامی سیسی[۱*]
یحیی همزه[۲]

[۱] استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

[۲] استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

مسئول مکاتبات:
efhami@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۲/۱۸

چکیده

چوب و هر چیز ساخته‌شده از آن در شرایط نامناسب براثر عوامل مخرب زنده و غیرزنده تخریب می‌شود. تاکنون روش‌ها و مواد مختلفی برای بهبود معایب چوب و فرآورده‌های مرکب چوبی توسعه یافته‌اند؛ اما امروزه به دلیل نگرانی‌های عمومی در مورد اثرات سوء مواد حفاظتی قدیمی، محققین به دنبال مواد دوستدار محیط‌زیست و ایمن هستند. بورات‌ها به دلیل مسمومیت حاد کم نامزد مناسبی برای نسل جدید مواد حفاظتی می‌باشند. بورات‌ها دامنه اثرگذاری وسیعی دارند، نه‌تنها قارچ‌کش و حشره-کش مؤثری هستند، بلکه به‌عنوان یک کندسوز کننده نیز عمل می‌کنند. بورات‌ها به‌آسانی در آب حل شده و قابلیت انتشار تا عمق چوب را دارند. همین مزیت بورات‌ها بزرگ‌ترین عیب آن‌ها نیز برشمرده می‌شود. فرمول‌بندی‌های بر پایه بورات به‌آسانی آبشویی شده و برای مصارف بیرونی مناسب نیستند. امروزه علی‌رغم مشکل آبشویی، از بورات‌ها به دلیل سمیت بسیار کم به‌طور وسیعی برای حفاظت چوب و به‌ویژه فرآورده‌های مرکب چوبی در برابر عوامل مخرب زنده و غیرزنده مانند آتش استفاده می‌شود. در این گزارش سعی شده است جدیدترین تحقیقات انجام‌شده بر روی امکان استفاده از بورات‌ها در صنعت چندسازه‌های چوبی مورد بازبینی قرار گیرد. ترکیبات مختلف بورات قابلیت زیادی برای حفاظت فرآورده‌های مرکب چوبی دارند و در حال حاضر به‌صورت تجاری از آن‌ها استفاده می‌شود.

واژگان کلیدی: بورات‌ها، فرآورده‌های مرکب چوبی، تخریب زیستی، آتش، محیط‌زیست.

مقدمه

استفاده از چوب در یک نظام توسعه پایدار علاوه بر مزایای زیست‌محیطی [۱]، دارای مزایای فیزیکی-مکانیکی زیادی نیز نسبت به سایر مصالح ساختمانی است [۲]، اما چوب معایبی نیز دارد. چوب در محیط‌های کنترل نشده دچار تغییر ابعاد شده و با خشک شدن همکشیده و با خیس شدن واکشیده می‌شود. کیفیت و ویژگی‌های چوب در میان درختان یک‌گونه و یا حتی در قسمت‌های مختلف یک درخت متفاوت است [۳]. چوب یک ماده آلی و لیگنوسلولزی است که مستعد تخریب توسط عوامل مخرب زنده (قارچ‌ها، حشرات و باکتری‌ها) است، از طرفی چوب هدایت حرارتی ضعیفی دارد و ازاین‌رو خیلی سریع آتش گرفته و شعله‌ور می‌شود [۴].

ساخت و پیدایش فرآورده‌های مرکب چوبی تا حد زیادی معایب مرتبط با چوب را کاهش داده است. فرآورده‌های مرکب چوبی در اندازه‌های دلخواه با ثبات ابعاد زیاد و خواص همگن ساخته می‌شوند؛ اما معایب مرتبط بادوام طبیعی چوب بدون تیمار حفاظتی همچنان

پابرجا خواهد بود. چوب و محصولات ساخته‌شده از چوب-هایی که به‌طور طبیعی دوام کمی دارند و مناسب برای شرایط مصرف نیستند، براثر تخریب زیستی یا غیرزیستی از بین خواهند رفت.

به‌طور سنتی چوب‌آلات فرآوری نشده و خام با طیفی از روش‌ها و مواد شیمیایی مختلف برای افزایش مقاومت آن‌ها در برابر تخریب زیستی یا غیرزیستی تحت تیمار حفاظتی قرار می‌گیرند؛ اما صنعت حفاظت چوب برای تیمار فرآورده‌های مرکب چوبی با پیچیدگی‌ها و شرایط خاصی روبرو است که در مورد چوب خام وجود ندارد. سیستم‌های حفاظتی برای فرآورده‌های مرکب چوبی باید حفاظت مؤثر را بدون کاهش خواص فیزیکی- مکانیکی فراهم سازند.

انواع مختلفی از فرآورده‌های مرکب چوبی وجود دارند، اما همه آن‌ها با توجه به ماهیت و اندازه ذرات تشکیل‌دهنده به سه گروه تقسیم می‌شوند: (۱) فرآورده‌های حاصل از لایه‌های چوبی، (۲) فرآورده-های ساخته‌شده از الیاف و خرده چوب‌ها و (۳) فرآورده‌های ساخته‌شده از چوب و یک ماده غیرچوبی [۵]، اما کاربرد آن‌ها همانند چوب اغلب به خاطر حساسیت به تخریب زیستی و یا آتش‌گیری محدود است؛ بنابراین وقتی از فرآورده‌های مرکب چوبی در موقعیت‌های بیرون ساختمان و یا حتی داخل ساختمان استفاده می‌شود، حفاظت از آن‌ها برای افزایش عمر مفید، ضروری است [۶].

یک ماده حفاظتی مناسب برای چوب و یا هر فرآورده ساخته‌شده از چوب باید (۱) حفاظت مناسب و مؤثری را در شرایط سرویس فراهم کند، از طرفی (۲) این هدف باید بدون خطر برای انسان و محیط‌زیست صورت گیرد. (۳) همچنین ماده استفاده‌شده باید در برابر آبشویی پایدار بوده و درنهایت (۴) مقرون‌به‌صرفه باشد [۷]. امروزه عملکرد زیست‌محیطی مواد حفاظتی و اثرات آن‌ها بر روی انسان و حیوان، نقش فزاینده‌ای در انتخاب و توسعه آن‌ها بازی می‌کند [۸].

حفاظت چوب و فرآورده‌های مرکب چوبی با حداقل مسائل زیست‌محیطی

امروزه تأثیرات زیست‌محیطی مواد حفاظتی، نظر بسیاری از دانشمندان را به خود جلب کرده است. مواد حفاظتی آینده صنعت اشباع و تیمار چوب نه‌تنها بر اساس عملکرد و صرفه اقتصادی، بلکه بر اساس اثرات زیست‌محیطی آن‌ها در زمان کاربرد و یا حتی بعد از عمر مفید انتخاب خواهند شد [۹].

ماده حفاظتی آرسنیک مس کرومی شده (CCA) زمانی بیشترین ماده استفاده‌شده برای تیمار چوب و یا تیمار ثانویه فرآورده‌های چوبی و به‌طور ویژه تخته‌لایه بود. CCA در افزایش عمر مفید چوب بسیار تأثیرگذار و کارآمد است، عمر مفید چوب‌آلات تیمار شده با آن تا ۶۰ سال افزایش می‌یابد [۷]. چوب‌آلات تیمار شده با CCA دارای مقادیر زیادی آرسنیک هستند که تهدید جدی برای سلامتی انسان به شمار می‌روند. این موضوع حتی بعد از عمر مفید چوب‌آلات و زمانی که تبدیل به ضایعات می-شوند، نیز باعث نگرانی است. امروزه CCA در آمریکای شمالی و اروپا از بسیاری کاربردها برای تیمار چوب و فرآورده‌های چوبی کنار گذاشته شده است [۱۰]. چندین ترکیب عاری از آرسنیک مانند کوات مس قلیایی[1] (ACQ)، آزول مس[2] (CA)، بورات کرومی شده مس[3] (CCB)، اسید کرومات مس[4] (ACC)، سیترات مس[5] (CC) و غیره برای جایگزینی با CCA پیشنهاد شده‌اند [۷]. این ترکیبات در فرمول‌بندی خود مقدار زیادی مس به‌عنوان آفت‌کش اولیه دارند و برخی اوقات از یک آفت کش مکمل نیز برای ایجاد مقاومت در برابر قارچ‌های مقاوم به مس استفاده می‌کنند [۱۱]. ویژگی ترکیبات جایگزین CCA اغلب مشابه آن است، ولی نرخ آبشویی آفت‌کش‌ها از چوب‌آلات تیمار شده با آن‌ها اغلب بیشتر و یا حداکثر برابر با حالتی است که در CCA وجود دارد [۱۱]. اگرچه آفت‌کش اصلی این مواد نسبت به آرسنیک سمیت حاد کمتری برای پستانداران دارند، اما این

[1] Alkaline Copper Quat
[2] Copper Azole
[3] Copper Chrome Boron
[4] Acid Copper Chromate
[5] Copper Citrate

سیستم‌ها دارای مقدار زیادی مس هستند که برای محیط‌های دریایی و اکوسیستم‌های آبی بسیار مضر است [۸ و ۱۱]. در حال حاضر مطالعات زیادی در حال اجرا هستند تا اکسیدهای فلزی را با مواد بیشتر دوستدار محیط‌زیست جایگزین کنند.

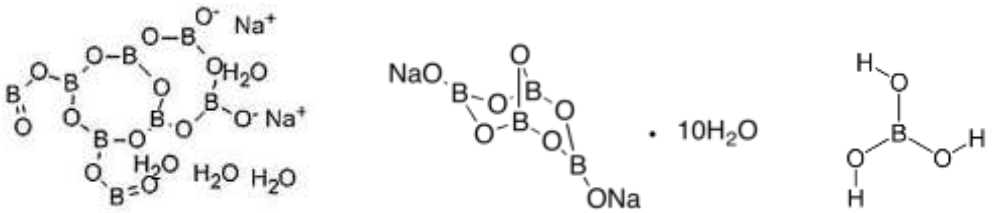
با توجه به بحث فوق، یک ماده حفاظتی دوستدار محیط‌زیست باید دارای دو شرط اساسی باشد: (۱) از مواد بیشتر دوستدار محیط‌زیست تشکیل شود و (۲) مقاوم به آبشویی باشد.

ترکیبات بر پایه بورات نامزد مناسبی برای نسل آینده فرمول‌های حفاظتی با حداقل مسائل زیست‌محیطی و سوء تأثیر بر روی سلامتی انسان هستند که در مقابل طیف گسترده‌ای از عوامل مخرب زنده و همچنین آتش تأثیرگذارند [۱۰، ۱۲ و ۱۳]؛ اما بورات‌ها از چوب‌آلات و فرآورده‌های چوبی تیمار شده آبشویی می‌شوند و استفاده از آن‌ها بستگی به تثبیت این ماده در چوب دارد [۱۳].

ترکیبات بورات و کاربرد آن‌ها

بورات‌ها در ساخت الیاف شیشه، کودها، کندسوز کننده‌ها، مواد شوینده و همچنین مواد حفاظتی استفاده می‌شوند [۱۴]. بورات‌ها بیش از ۶۰ سال است که در صنعت حفاظت چوب اروپا و استرالیا استفاده می‌شوند [۱۵]. اسید بوریک، دی سدیم تترابورات دکاهیدرات (بوراکس)، دی سدیم اکتابورات تتراهیدرات[1](DOT یا با نام تجاری تیمبور)، بورات روی، بورات کلسیم و تعدادی ترکیب دیگر از انواع متفاوت ترکیبات بر پایه عنصر بورون هستند که برای حفاظت چوب در برابر حشرات، قارچ‌ها و آتش مورداستفاده قرار می‌گیرند (شکل ۱) [۱۶-۱۸].

در سال‌های اخیر به خاطر سمیت حاد کم، بورات‌ها دوباره برای حفاظت چوب موردتوجه محققین قرار گرفته‌اند [۱۳]. البته اخیراً در اوت سال ۲۰۰۸ در ناحیه اتحادیه اروپا در مورد اثر بورات‌ها بر روی پستانداران و سلامتی انسان بازنگری مجددی صورت گرفته است. بر اساس آیین‌نامه شماره 67/548/EEC، اسید بوریک و بوراکس به‌عنوان مواد سمی و زیان‌آور برای تولیدمثل شناخته شده و در طبقه‌بندی شماره ۲ قرار گرفته‌اند [۱۹]. درواقع در بازنگری جدید، این ترکیبات به‌عنوان ماده سمی برای باروری و رشد و نمو جنین گروه‌بندی می‌شوند. شماره خطرپذیری بورات‌ها در آیین‌نامه جدید شامل R60 (ممکن است باروری را مختل کند) و R61 (ممکن است باعث آسیب به جنین شود) است. بر اساس این بازنگری، برای اسید بوریک و بوراکس محدودیت غلظت در نظر گرفته شده است که به ترتیب ۵/۵ و ۸/۵ درصد است. این مواد نباید با غلظت‌هایی برابر یا بیشتر از این میزان تهیه و استفاده شوند. بورات‌ها در آمریکای شمالی به‌عنوان ماده حفاظتی چوب در آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا ثبت شده‌اند و همچنین در دیگر جاهای دنیا همانند آسیا و اقیانوسیه مشکلی برای استفاده از این مواد وجود ندارد. البته در اروپا نیز با در نظر داشتن محدودیت غلظت، کماکان از بورات‌ها استفاده می‌شود.



شکل ۱- ساختار شیمیایی بورات‌ها از راست به چپ: اسید بوریک (H_3BO_3)، بوراکس ($Na_2B_4O_7{\cdot}10H_2O$) و تیمبور ($Na_2B_8O_{13}.4H_2O$)

[1] DisodiumOctaborateTetrahydrat

بورات‌ها برای حفاظت چوب توسط انجمن حفاظت-گران چوب آمریکا استاندارد شناخته شده‌اند، اما تنها برای کاربردهایی که در تماس مستقیم با آب جاری نیستند. چوب‌آلات تیمار شده با بورات‌ها تنها باید در شرایطی استفاده شوند که از آب باران، آب ساکن و تماس با خاک دور هستند.

در حال حاضر بورات‌ها در یکی از گروه‌های زیر برای حفاظت چوب استفاده می‌شوند [۱۲]:

- تیمار چوب‌های دکوری و تزئینی و همچنین ساختارهای چوبی داخل ساختمانی در اقیانوسیه (نیوزیلند و استرالیا)
- تیمار درمانی و فرمول‌بندی‌های تثبیت‌شده در کاربردهای خارج ساختمانی در اروپا
- در ساختمان‌ها، فرآورده‌های چوبی و کنترل آفات در آمریکای شمالی

بیشترین کاربرد بورات‌ها در تیمار درمانی چوب است که به علت قابلیت پخش و انتشار بالای آن‌ها در چوب است [۱۰]. بورات‌ها قابلیت استفاده از رطوبت چوب و پخش شدن در عمق آن، با سپری شدن زمان را دارند، به‌طور ویژه در چوب‌هایی که دارای رطوبت مساوی یا بیشتر از ۱۵ درصد هستند [۱۸]. میله‌های بوراتی (کارتریج‌های حفاظتی؛ شکل ۲)، محلول‌های گلایکول حاوی بورات و باندهای درمانی از مواردی هستند که از بورات‌ها در تیمار درمانی استفاده می‌شود [۲۰].

شکل ۲- میله‌های حفاظتی پرشده با بورات‌ها در حال قرار گرفتن در اتصال L شکل در پنجره‌های چوبی [۴]

آستانه اثرگذاری بورات‌ها در مقابل حشرات

بورات‌ها اگرچه دورکننده نیستند، اما در صورت خورده شدن و یا جذب توسط حشره به‌صورت یک سم گوارشی عمل نموده و به‌مرورزمان موجب مرگ آن می‌شود [۱۸]. بورات‌ها در مقابل حشرات و قارچها بسیار تأثیرگذارتر از مس و روی هستند [۱۴]. اغلب میزان کمتری از بورات برای کنترل حشرات و قارچ‌های مولد پوسیدگی موردنیاز است. برای جلوگیری از رشد قارچ‌های بازیدیومیست تنها ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر از بورات کافی است، درحالی‌که برای قارچ‌های حساس به مس، ۶۴۰ میلی‌گرم در لیتر و برای قارچ‌های مقاوم به مس، ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر موردنیاز است [۲۱]. آستانه سمیت DOT در مقابل حشرات مختلف و قارچ‌ها بر اساس تحقیقات Drysdale (۱۹۹۴) در جدول ۱ خلاصه شده است [۲۲]. میزان جذب لازم برای ایجاد دوام کافی در برابر موریانه‌ها به‌طور تجاری معمولاً بیش از ۱ درصد معادل اسید بوریک (وزن ماده شیمیایی/وزن خشک اجاقی چوب) در نظر گرفته می‌شود که برابر با ماندگاری ۴/۵ کیلوگرم بر مترمکعب است که به دانسیته چوب بستگی دارد [۲۳].

معادل اسید بوریک(BAE) یک واحد استاندارد برای بررسی و مقایسه میزان اثرگذاری بورات‌ها است. برای آسانی مقایسه، ترکیبات بورات اغلب به‌صورت BAE مقایسه می‌شوند که به‌طور ظاهری بیانگر میزان اسید بوریکی است که می‌تواند از ترکیبات پایه‌ایی شکل بگیرد. در این گزارش تمام مقادیر درصدی که استفاده شده است به‌صورت وزن/وزن هستند. برای درصد جذب مواد شیمیایی در چوب، درصدها بر مبنای وزن ماده شیمیایی جذب‌شده بر وزن خشک اجاقی چوب است.

[1]Boric Acid Equivalent

تحقیقات آزمایشگاهی نشان داده‌اند که بورات‌ها حتی در حد BAE ۰/۲ درصد نیز برای موریانه‌ها بسیار سمی بوده و باعث مرگ‌ومیر قابل‌توجه آن‌ها می‌شوند؛ اما حداقل آستانه سمیت موردنیاز جهت ایجاد حفاظت کامل در برابر موریانه‌ها بیش از ۱ درصد گزارش شده است [۲۴]. در مطالعات قدیمی‌تر، میزان BAE کافی برای ایجاد مقاومت در برابر موریانه *Reticulitermes flavipes* در گونه کاج ۰/۳ درصد بیان شده است [۲۵]، درحالی‌که در برابر موریانه *Coptotermes formosanus* که در ژاپن و آمریکای شمالی یافت می‌شود، بیش از ۰/۵۴ درصد اعلام شده است [۲۶].

مقادیر گزارش‌شده در مورد میزان آستانه سمیت بورات‌ها در برابر موریانه‌ها متفاوت است. از دلایل این موضوع می‌توان به روش انجام آزمون‌ها، گونه چوبی و گونه موریانه اشاره کرد. به‌طورکلی در حدود BAE ۱ درصد برای حفاظت مؤثر در مقابل موریانه‌ها لازم است. برای کنترل سوسک‌های حفار چوب مقدار کمتری گزارش شده است.

جدول ۱- حداقل آستانه سمیت برای DOT که به‌وسیله آزمون‌های استاندارد اروپایی انجام شده است [۲۲]

آزمون و عامل مخرب هدف	جذب	
	DOT, Kg/m^3	% BAE, (وزن/وزن)
EN 113 قارچ‌های بازیدیومیست	۰/۸	۰/۱۶
EN 20-2 سوسک لیکتوس	۱/۰	۰/۲۰
EN 47 سوسک هیلوتروپس	۰/۷	۰/۱۴
EN 49-2 سوسک آنوبیوم	۰/۳	۰/۰۶
EN 117 موریانه‌ها	۵/۶	۱/۱۲
EN 330 آزمون صحرائی اتصال L-شکل	۰/۸	۰/۱۶

آستانه سمیت بورات‌ها در مقابل قارچ‌ها

اثرگذاری بورات‌ها در کنترل فعالیت قارچ‌ها تحت تأثیر دخالت آنیون بورات بر روی متابولیسم پلی ال ها (قندهای الکلی) در سلول‌های قارچ است [۱۸]. بازدارندگی بورات‌ها در مقابل قارچ‌ها به‌دفعات در شرایط سرویس و آزمایشگاه توسط محققین مختلف بررسی شده است. تاکنون هیچ گزارشی مبنی بر مقاومت یک قارچ بازیدیومیست در برابر بورات‌ها گزارش نشده است [۲۳]، درحالی‌که مواد حفاظتی حاوی مس و آرسنیک نسبت به تعدادی از قارچ-های عامل پوسیدگی قهوه‌ای حساس هستند [۲۲]. البته تأثیرگذاری بورات‌ها در برابر قارچ‌های عامل کپک و تغییر رنگ به اندازه قارچ‌های مولد پوسیدگی نیست [۲۷]. اغلب ۱/۵ کیلوگرم بر مترمکعب BAE برای توقف رشد قارچ‌ها در چوب‌های تیمار شده با ترکیبات بورات کافی است [۲۸].

اخیراً گزارش شده است که حتی ۰/۴ کیلوگرم بر مترمکعب BAE برای توقف رشد قارچ‌های *Antrodia vaillantii*، *T. versicolor* و*Serpula lacrymans* در چوب‌های راش و نوئل کافی است، اما در مورد قارچ‌های مقاوم حداقل ۰/۸ کیلوگرم بر مترمکعب BAE موردنیاز است [۲۹]. مقادیر گزارش‌شده در این مطالعه بسیار کمتر از چیزی بود که قبلاً و در تحقیقات اولیه گزارش شده است.

آستانه اثرگذاری بورات‌ها در مقابل آتش

بورات‌ها یک کندسوز کننده عمومی برای تقویت مواد مختلف در مقابل احتراق و آتش‌سوزی هستند. آن‌ها از طریق واکنش‌های گرماگیر موجب جذب حرارت شده و بدین ترتیب احتراق مواد را به تأخیر می‌اندازند، از طرف دیگر هنگام تجزیه حرارتی بورات‌ها، آب آزاد می‌شود که موجب رقیق شدن گازهای قابل اشتعال و تشکیل زغال می‌شود [۳۰]. حداقل BAE ۱۰ درصد جهت ایجاد مقاومت به آتش و تأمین احتیاجات استانداردهای مربوط به مواد با قابلیت آتش‌پذیری کم ضروری است [۳۱]. همچنین LeVan و Winandy (۱۹۹۰) گزارش کرده‌اند که برای تأمین ملاحظات کلاس یک (Class I) استاندارد ASTM E 84 (۱۹۹۸)، حداقل ۴۸ کیلوگرم بر مترمکعب مخلوطی از اسید بوریک و بوراکس برای افزایش مقاومت

به آتش چوب‌های مختلف لازم است [۳۲]. ترکیبات بورات نسبت به سایر مواد شیمیایی به علت اثرات حفاظتی در مقابل عوامل مخرب زنده، اسیدیته خنثی و همچنین اثرات منفی کمتر بر روی ویژگی‌های مکانیکی کندسوز کننده بهتری هستند [۳۳] و از طرفی با سایر کندسوزکننده‌ها (مانند گرافیت‌ها و فسفات‌ها) نیز هم-افزایی خوبی دارند [۳۰].

حفاظت فرآورده‌های مرکب چوبی با استفاده از ترکیباب بورات

در هر شرایطی هنگام تیمار حفاظتی یک فرآورده مرکب چوبی باید به ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آن نیز توجه شود. مشکل اصلی با حفاظت کننده‌های شیمیایی، آبشویی و سمیت آن‌ها است. بورات‌ها مواد حفاظتی خوب و با ویژگی‌های مناسب برای حفاظت فرآورده‌های مرکب چوبی هستند. محققین چندین سال است که در حال تحقیق بر روی فرآورده‌های مرکب چوبی هستند که در آن‌ها از ترکیبات بورات به‌عنوان کندسوز کننده و یا آفت-کش استفاده شده است. با توجه به اینکه روش‌های مختلفی برای حفاظت از فرآورده‌های مرکب چوبی وجود دارد، در ادامه با توجه به روش استفاده، کاربرد بورات‌ها در حفاظت از این فرآورده‌ها موردبحث قرار خواهد گرفت.

تیمار محصول تمام‌شده

به نظر می‌رسد آسان‌ترین و کاربردی‌ترین روش برای حفاظت فرآورده‌های مرکب چوبی تیمار محصول تمام شده باشد. در این روش ماده حفاظتی با یک تیمار سطحی و یا تیمارهای تحت‌فشار بر روی محصول تمام‌شده اعمال می‌شود. ازآنجایی‌که با این روش بخش داخلی فرآورده تیمار نشده باقی می‌ماند، ممکن است تیمار حفاظتی چندان مؤثر نباشد [۲]. این نوع از تیمار باعث حفاظت سطحی شده و اغلب جهت حفاظت کوتاه‌مدت در برابر حمله قارچ‌ها، کپک‌ها و نفوذ آب طراحی شده است. این روش بیشتر برای حفاظت فرآورده-های مرکب چوبی در مرحله نقل‌وانتقال، انبار و مرحله ساخت ساختمان (وقتی هنوز بام وجود ندارد) استفاده می‌شود. مزیت اصلی این نوع از تیمار، آسانی روش انجام و مقرون‌به‌صرفه بودن آن است [۳۴].

ترکیب تیمار سطحی با مواد قابل‌انتشار از قبیل بورات‌ها، باعث نفوذ عمیق‌تر ماده حفاظتی می‌شود. در این سیستم مواد در سطح باقی می‌مانند، درجایی که بیشترین احتیاج به آن‌ها وجود دارد تا بتوانند یک مانع حفاظتی در مقابل حمله قارچ‌ها و حشرات ایجاد کنند. از طرف دیگر مواد قابل‌انتشار در داخل چوب نفوذ کرده و تیمار عمیق-تری ایجاد می‌کنند [۳۵].

تیمار تحت‌فشار بر روی محصول تمام‌شده، برای همه فرآورده‌های مرکب چوبی قابل انجام نیست. فرآورده‌های مرکب چوبی به‌سختی اشباع می‌شوند و اشباع آن‌ها باعث همکشیدگی و واکشیدگی محصول، ترک‌های ناخواسته و آسیب به خط چسب می‌شود. بنابراین این روش تنها در مورد فرآورده‌هایی قابل‌اجرا است که از چسب‌های فنولیک (مانند فنل فرمالدهید) و مقاوم به آب ساخته‌شده‌اند [۳۶]. در اکثر موارد این روش با استفاده از مواد حفاظتی محلول در آب و بر پایه مس و بر روی فرآورده‌های ساخته‌شده از مواد چوبی لایه‌ای از قبیل تخته‌لایه و الوار لایه‌ای انجام می‌شود [۳۷]. هرچند تیمار تحت‌فشار فرآورده‌ها با CCA [۳۹ و ۴۰] و ACQ [۴۰] تا حدودی دوام زیستی را افزایش می‌دهد اما قابلیت حفاظت بلندمدت را به علت پراکندگی نایکنواخت مواد در ضخامت فرآورده نخواهند داشت. علاوه بر این، تیمار ثانویه محصول تمام‌شده می-تواند تأثیرات منفی دیگری نیز بر روی ثبات ابعاد و ویژگی‌های مکانیکی داشته باشد [۴۱]. از طرف دیگر خشک نمودن دوباره محصولی که به‌طور خشک تولید شده است، نیازمند صرف وقت و انرژی خواهد بود [۴۲].

همان‌طور که اشاره شد، تیمار تحت‌فشار بر روی محصول تمام‌شده، اغلب با مواد حفاظتی محلول در آب و بر پایه مس انجام می‌شود اما می‌توان بورات را نیز به‌عنوان یک آفت‌کش مکمل جهت افزایش عمق نفوذ ماده حفاظتی به آن اضافه نمود. هیچ مطالعه و یا گزارشی در مورد استفاده از یک فرمول حفاظتی بر پایه بورات که به‌تنهایی جهت تیمار ثانویه محصول تمام‌شده به کار رفته باشد، یافت نشد؛ اما در سال‌های اخیر تحقیقات خوبی در مورد تیمار با بخار بورن به‌صورت تیمار ثانویه بر روی

فرآورده‌های مرکب چوبی انجام شده است. این روش اگرچه نتایج بسیار رضایت‌بخشی به همراه داشته است، اما تاکنون تجاری‌سازی نشده است [۳۵]. این روش با در معرض قرار دادن نمونه چوبی در برابر بخار حاصل از یک ترکیب فرار بورات از قبیل تری متیل بورات انجام می‌شود که با هیدرولیز استر و رسوب ماده اصلی حفاظتی (اسید بوریک) در چوب همراه است [۴۳].

در یک ارزیابی آزمایشگاهی تیمارپذیری چوب (چوب-برون گونه *Cryptomeria japonica*) و فرآورده‌های مرکب چوبی (از قبیل تخته خرده‌چوب (PB)، تخته تراشه جهت-دار (OSB)، تخته فیبر با دانسیته متوسط (MDF) و تخته‌لایه) با بخار تری متیل بورات بسیار خوب بوده و باعث افزایش چشم‌گیر دوام زیستی در برابر حمله قارچ‌ها و حشرات شد. هیچ تفاوتی در تأثیرگذاری میان بخار تری متیل بورات و اشباع با محلول اسید بوریک دیده نشد. در حدود BAE ۱ درصد با استفاده از بخار بورون جهت تیمار فرآورده‌های مرکب چوبی برای کنترل حمله قارچ‌ها و موریانه‌ها کافی بود [۳۱]. در مطالعه دیگری بر روی تیمار فرآورده‌های مرکب چوبی با ترکیبات فرار بورون، با جذب ۰/۷BAE درصد، پوسیدگی قارچی به‌طور قابل‌توجهی کنترل شد و میزان کاهش وزن نمونه‌ها پس از ۱۶ هفته کشت قارچ کمتر از ۲ درصد بود، درحالی‌که نمونه‌های شاهد بیش از ۱۵ درصد کاهش وزن داشتند [۴۴]. همچنین اثر تیمار با تری متیل بورات در دو سطح مختلف BAE ۱ درصد و BAE ۵ درصد بر روی مقاومت‌های مکانیکی سه فرآورده چوبی شامل MDF، OSB و الوار لایه‌ای[1](LVL) بررسی شده است. نتایج نشان داد تیمار با این روش به‌ویژه در سطح BAE ۱ درصد تأثیر منفی بر روی ویژگی‌های مکانیکی ندارد [۴۵].

استفاده از بخار بورن برای تیمار ثانویه محصول تمام‌شده مزایای زیادی نسبت به روش‌های قدیمی دارد. با توجه به اینکه حلالی استفاده نمی‌شود، بنابراین محصول به علت خیس نشدن واکشیده نخواهد شد و مشکلات حاصل از نیروی کشش موئین مایع و دیگر ملاحظات مربوط به سطح محصول حذف می‌شود.

[1]Laminated Veneer Lumber

پیش تیمار مواد اولیه

در این روش ماده حفاظتی می‌تواند با ماده اولیه شامل لایه، فیبر یا خرده‌چوب با یکی از روش‌های تحت‌فشار یا غوطه‌وری ساده قبل از پرس و تشکیل کیک فرآورده ترکیب شود [۳۵ و ۳۷]. تیمار مواد اولیه چوبی با بورات‌ها معمولاً برای حفاظت فرآورده‌های مرکب چوبی نه‌تنها در برابر عوامل مخرب زیستی، بلکه در برابر آتش نیز انجام می‌شود. پراکندگی یکنواخت مواد شیمیایی در ضخامت محصول و پروفیل لایه‌ها و همچنین میزان جذب دلخواه ماده شیمیایی از مزیت‌های این روش محسوب می‌شود. سازگاری چسب با مواد اولیه پیش تیمار شده نیز مهم بوده و تاکنون موضوع چندین تحقیق بوده است [۴۶].

خواص مکانیکی LVL ساخته‌شده از لایه‌های راش و پیش تیمار شده با اسید بوریک توسط Colakoglu و همکاران (۲۰۰۳) بررسی شده است [۴۷]. میزان ماندگاری ماده حفاظتی kg/m^3 ۱۱/۵ بود. تیمار اولیه با اسید بوریک تأثیری بر روی کیفیت چسبندگی با چسب فنل فرمالدهید[2] (PF) و مدول الاستیسیته[3] (MOE) تخته‌ها نداشت، ولی مقاومت خمشی را کاهش داد. در این مطالعه مقدار بالای جذب بورات جهت ایجاد مقاومت به آتش بوده است. در اکثر موارد از روش پیش‌تیمار مواد اولیه با ترکیبات بورات جهت افزایش مقاومت به آتش فرآورده استفاده می‌شود. با این روش می‌توان میزان دلخواه ماده شیمیایی را که برای ایجاد مقاومت به آتش ضروری است، در داخل چوب بارگذاری نمود.

خواص کندسوزکنندگی بورات‌ها و ترکیبات فسفاتی در تخته‌لایه و با استفاده از روش پیش تیمار لایه‌ها مقایسه شده است. تخته‌لایه‌های تیمار شده با ترکیبی از اسید بوریک و بوراکس با وجود جذب کم ماده حفاظتی عملکرد خوبی در برابر آتش نشان دادند. نمونه‌های تیمار شده با بورات‌ها نسبت به ترکیبات فسفاتی، مقدار کاهش وزن کمتری براثر حمله قارچ و یا موریانه‌های زیرزمینی داشتند [۴۸].

Efhamisisi و همکاران (۲۰۱۷) اثر پیش تیمار لایه-های راش با محلول‌های مختلف تانن/اسید بوریک را بر روی دوام زیستی تخته‌لایه‌ها ساخته‌شده با چسب

[2] Phenol Formaldehyde
[3] Module of Elasticity

ملامین/اوره/فرمالدهید(MUF) بررسی کردند. نتایج نشان داد که اسید بوریک، تراکم تانن‌ها را تسریع نموده و از طرف دیگر می‌تواند به‌طور نسبی در شبکه تانن تثبیت شود. تخته‌های ساخته‌شده با محلول‌های حاوی ۲۰ درصد تانن+۱ درصد اسید بوریک حتی بعد از آبشویی نیز مقاومت خوبی در برابر حمله قارچی و تخریب موریانه‌های زیرزمینی داشتند. این فرمول‌بندی اگرچه اثر منفی بر روی کیفیت چسبندگی بین لایه‌ها داشت اما تخته‌ها ساخته‌شده کماکان احتیاجات استاندارد برای شرایط کاربرد مرطوب را رعایت می‌کردند [۴۹].

استفاده ترکیبی از بوراکس و اسید بوریک به‌عنوان کندسوز کننده، نه‌تنها باعث تعدیل pH محلول حفاظتی می‌شود بلکه اثرات هم‌افزایی نیز دارد. اسید بوریک و بوراکس هر دو نقطه ذوب کمی داشته و در صورت حرارت‌دهی باعث تشکیل لایه شیشه‌ای بر روی ماده بستر می‌شوند. بوراکس باعث جلوگیری از پخش شعله می‌شود، درحالی‌که انتشار دود را افزایش می‌دهد. اسید بوریک احتراق شعله‌ای و انتشار دود را کاهش می‌دهد، ولی تأثیری بر روی سرعت پخش شعله ندارد [۳۲].

Mamatha و همکاران (۲۰۱۷) اثر کندسوز کننده‌های مختلف (شامل اسید بوریک/بوراکس، بورات روی و آمونیوم فسفات) را بر روی کندسوز شوندگی و همچنین خواص مکانیکی تخته خرده چوب ساخته‌شده با رزین MUF را بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزودن ۲ درصد ماده کندسوز کننده بر اساس وزن خشک خرده‌چوب‌ها به‌صورت پیش تیمار اولیه آن‌ها و یا افزودن داخل چسب زمان احتراق را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد. پیش تیمار اولیه خرده‌چوب‌ها اثر منفی بر روی مقاومت‌های مکانیکی نداشت درحالی‌که افزودن کندسوز کننده به خط چسب می‌تواند باعث افت صفات فیزیکی-مکانیکی تخته‌ها شود [۵۰].

از معایب بورات‌ها به‌عنوان کندسوز کننده، افزایش در میزان رطوبت تعادل چوب و فرآورده‌های مرکب چوبی در رطوبت نسبی بالا است. تخته‌لایه‌های که با لایه‌های پیش تیمار شده با ترکیبات بورات ساخته شده‌اند (به‌عنوان کندسوز کننده) اغلب رطوبت تعادل بالاتری دارند [۵۱ و ۵۲]. رطوبت بالاتر باعث ایجاد مشکلاتی در ظاهر (تغییرات رنگ)، رنگ خوری، پرداخت سطح، خروج مواد شیمیایی و خوردگی بست‌های فلزی می‌شود [۳۳].

با توجه به نتایج تحقیقات، پیش تیمار مواد اولیه با ترکیبات بورات اغلب برای افزایش مقاومت در برابر آتش انجام می‌شود. تأثیر منفی بورات‌ها معمولاً کمتر از سایر کندسوز کننده‌هاست و از طرفی می‌توانند دوام زیستی فرآورده‌ها را نیز افزایش دهند. با برخی ملاحظات و بازنگری در فرمول‌بندی چسب‌های مصرفی و همچنین با مخلوط بورات‌های بازی و اسیدی، می‌توان اثر سوء آن‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی-مکانیکی فرآورده‌های مرکب چوبی را کاهش داد.

تیمار در حین فرایند تولید

در این سیستم می‌توان ماده حفاظتی را با دو روش بر روی مواد اولیه چوبی اعمال نمود [۱۶، ۳۵ و ۳۷]:

۱. مخلوط اولیه ماده حفاظتی با چسب و اسپری آن بر روی مواد اولیه: این روش به تیمار خط چسب معروف بوده و معمولاً برای فرآورده‌های ساخته‌شده از لایه‌های چوبی همانند تخته‌لایه و LVL استفاده می‌شود.

۲. اسپری ماده حفاظتی به‌طور مستقیم بر روی مواد اولیه چوبی در داخل چسب زن: این روش معمولاً برای فرآورده‌های ساخته‌شده از مواد اولیه تراشه‌ای (مانند OSB) و با استفاده از مواد حفاظتی پودری صورت می‌گیرد (مانند بورات روی).

در یک بررسی به‌منظور افزایش دوام زیستی تخته‌های LVL از اسید بوریک با دو غلظت ۵ و ۱۰ درصد (بر مبنای وزن خشک رزین) داخل خط چسب MUF استفاده شد. نتایج نشان داد میزان اسید بوریک اضافه‌شده به خط چسب تأثیری بر روی کیفیت چسبندگی لایه‌ها ندارد. همچنین MUF به شکل حصار در مقابل نفوذ آب و خروج اسید بوریک طی آزمون آبشویی عمل می‌کند. بعد از ۱۴ روز آبشویی، ۳۹ درصد بورات اولیه همچنان در تخته‌ها حضور داشت که می‌توانست برای ایجاد مقاومت در برابر قارچ کافی باشد [۵۳]. این در حالی است که در گزارش دیگری افزودن ۰/۵، ۱ و ۵ درصد ترکیبی از اسید بوریک و بوراکس بر مبنای وزن کل چسب باعث افت مقاومت‌های

[1] Melamine Urea Formaldehyde

مکانیکی تخته خرده چوب (چسبندگی داخلی(IB) و MOE) ساخته‌شده از چسب اوره فرمالدهید(UF) شد. اگرچه مقاومت به آتش نمونه‌ها به‌ویژه در غلظت‌های بالاتر افزایش چشم‌گیری داشت [۵۴].

Lesar و همکاران (۲۰۱۱) اسید بوریک را با دو غلظت نهائی ۰/۵ و ۱ درصد به‌منظور افزایش دوام زیستی تیرهای لایه‌ای در برابر قارچ‌های عامل پوسیدگی به چسب MUF اضافه نمودند. این عمل تأثیر منفی بر روی کشش برشی و کیفیت چسبندگی لایه‌ها نداشت و حتی برخی ویژگی‌های مکانیکی بهبود یافت؛ اما نتایج آزمون قارچ تفاوتی با حالت شاهد نداشت. این موضوع احتمالاً به علت حجم زیاد چوب نسبت به خط چسب در تیرهای لایه‌ای است. به نظر می‌رسد این تکنیک برای تیرهای لایه‌ای مناسب نباشد درحالی‌که برای تخته‌لایه، LVL و یا OSB به خاطر ضخامت کمتر لایه‌ها عملی خواهد بود [۵۵]. اضافه نمودن مقدار کمی از اسید بوریک داخل چسب‌های آمینی اثر قابل‌توجهی بر روی ویژگی‌های مکانیکی ندارد، اما می‌تواند انتشار فرمالدهید آزاد از این چسب‌ها را تا مقدار زیادی کاهش دهد [۵۷ و ۵۸].

افزودن اسید بوریک بر روی کیفیت چسبندگی رزین-های تانن بنیان نیز اثر مثبتی دارد. افزودن اسید بوریک به داخل چسب تانن، نه‌تنها باعث افزایش سرعت واکنش‌های خود تراکمی می‌شود [۵۸]. بلکه به مقاومت تخته‌لایه‌های ساخته‌شده با این چسب، در مقابل قارچ‌ها و موریانه‌ها نیز افزوده می‌شود [۵۹].

افزودن مقدار زیادی از بورات‌ها به خط چسب برای افزایش مقاومت به آتش فرآورده مرکب چوبی باعث افت شدید مقاومت‌های مکانیکی می‌شود، بنابراین معمولاً بورات‌ها را به‌عنوان کندسوز کننده با مواد اولیه مخلوط می‌کنند که می‌تواند به‌صورت اسپری مستقیم بر روی مواد اولیه خشک باشد.

تأثیر انواع کندسوز کننده‌ها بر روی IB و کیفیت اتصال چسب PF در تخته فیبر ساختمانی به‌وسیله Ayrilmis (۲۰۰۷) مطالعه شده است [۶۰]. اسید بوریک، بوراکس و تعدادی کندسوز کننده فسفری با مقادیر جذب ۲، ۴ و ۶ درصد بر مبنای وزن خشک الیاف بر روی مواد اولیه اسپری شدند. کیفیت اتصال و IB تخته‌ها با افزایش میزان مواد شیمیایی کاهش یافت. همچنین نتایج مشابهی در مورد تخته فیبر با دانسیته سنگین و با استفاده از چسب UF به دست آمده است [۶۱]. در هر دو مطالعه مقاومت به آتش تخته‌ها با افزایش میزان بورات بهبود یافت. در حقیقت تأثیر منفی بورات‌ها بر روی ویژگی‌های مکانیکی وقتی ظاهر می‌شود که مقدار خیلی زیادی از آن‌ها برای ایجاد مقاومت به آتش با مواد اولیه چوبی مخلوط شده باشند.

در حال حاضر رایج‌ترین ماده حفاظتی برای حفاظت چندسازه‌های چوب پلاستیک و OSB در آمریکای شمالی بورات روی (ZB) است که به‌صورت پودر و یا امولسیون استفاده می‌شود. حل‌شوندگی ZB در آب کمتر از سایر بورات‌ها است و با استفاده از روش‌های در حین تولید می-توان آن را به‌طور یکنواخت در ضخامت چندسازه‌ها پراکنده نمود [۶۲].

در یک مطالعه تأثیر اضافه نمودن ZB و بورات کلسیم که به‌طور مستقیم همراه با چسب PF بر روی رشته چوب‌ها اسپری شده بودند بر روی مقاومت OSB در مقابل قارچ‌های عامل پوسیدگی قهوه‌ای و باختگی بررسی شد. نتایج نشان داد که در حدود BAE ۱ درصد می‌تواند جهت ایجاد دوام مناسب در برابر پوسیدگی قهوه‌ای کافی باشد. از طرفی ZB و بورات کلسیم در مقابل قارچ‌های عامل کپک نیز تأثیرگذار بودند که با افزایش میزان جذب، بازدارندگی آن‌ها افزایش یافت [۶۳]. امکان تولید OSB مقاوم در برابر موریانه‌ها و با خواص فیزیکی- مکانیکی مناسب نیز وجود دارد که با انتخاب درست گونه‌های چوبی، نوع بورات، مقدار جذب آن و همچنین تنظیم دیگر پارامترهای فرآیند تولید ممکن می‌شود [۶۴].

استفاده از ZB در صنعت چندسازه چوب پلاستیک توسعه زیادی یافته و کاملاً در آمریکای شمالی مرسوم است. تأثیر ZB و دو نوع بورات دیگر شامل سدیم و کلسیم بورات بر روی دوام زیستی چوب پلاستیک در برابر قارچ پوسیدگی قهوه‌ای توسط Simonsen و همکاران (۲۰۰۴) بررسی شده است [۶۵]. نتایج نشان داد مقادیر کاهش وزن چوب پلاستیک تیمار شده با ZB پس از آزمون قارچ بسیار کم و قابل‌چشم‌پوشی بود، همین‌طور مقادیر کاهش وزن به‌دست‌آمده با بورات سدیم و کلسیم

[1]Internal Bonding
[2]Urea Formaldehyde

نیز کم و در حدود ۱ درصد بود. اخیراً نیز گزارش شده است که اضافه نمودن ZB به‌صورت پودر داخل ترکیبات چوب پلاستیک و با میزان BAE ۱ درصد می‌تواند باعث افزایش معنی‌دار دوام زیستی در برابر قارچ و موریانه‌ها شود [۶۶]. از ZB به‌عنوان کندسوز کننده فرآورده‌های چوب پلاستیک نیز استفاده می‌شود. تحقیقات نشان داده است استفاده از ۱۲ درصد ZB باعث کندسوز شوندگی قابل‌توجه چوب پلاستیک شده و کاهش مقاومت‌های مکانیکی آن نسبت به سایر کندسوز کننده‌ها کمتر است [۶۷]. اخیراً با پیشرفت فناوری تولید چوب پلاستیک با استفاده از روش کو-اکسترودر امکان افزودن مواد حفاظتی و کندسوز کننده بر روی سطح فرآورده، بدون کاهش قابل‌توجه ویژگی‌های مکانیکی آن فراهم شده است [۶۸].

امکان پیش تیمار آرد چوب با ZB و استفاده از آن در ساخت چوب پلاستیک نیز موردمطالعه قرار گرفته است. اثرگذاری منفی این روش بر روی مقاومت‌های مکانیکی نسبت به اختلاط مستقیم ZB با آرد چوب تفاوت چندانی نداشت [۶۹].

مشکل اصلی استفاده از ترکیبات بورات به‌منظور حفاظت فرآورده‌های مرکب چوبی آبشویی و تأثیر منفی آن‌ها بر روی ویژگی‌های فیزیکی-مکانیکی است. فرآورده-های مرکب چوبی تیمار شده با ترکیبات بورات در مقابل آبشویی حساس بوده و به‌عنوان محصولات قابل‌مصرف در شرایط بیرونی طبقه‌بندی نمی‌شوند. آبشویی بورات از این فرآورده‌ها می‌تواند بسیار مشکل‌آفرین باشد و مطالعات زیادی باید در این مورد انجام شود. از طرف دیگر بارگذاری زیاد بورات در داخل چوب نیز بر روی ویژگی-های فیزیکی-مکانیکی اثر منفی دارد.

تثبیت بورات‌ها در چوب

هر زمان که نقش بورات‌ها به‌عنوان یک ماده حفاظتی یاد می‌شود عدم تثبیت شیمیایی آن در چوب نیز بحث می‌شود. اگرچه بورات‌ها به‌عنوان یک ماده حفاظتی و یا کندسوز کننده مزایای زیادی دارند، اما در تماس مستقیم با آب بسیار ضعیف عمل کرده و آبشویی می‌شوند. در طی سال‌ها انواع فرمول‌های بر پایه بورون جهت بهبود دوام چوب به کار رفته است اما همچنان مشکلات مربوط به آبشویی زیاد آن‌ها کاملاً حل نشده است.

گسترش استفاده از بورات‌ها به‌عنوان یک ماده حفاظتی به تثبیت این ماده در چوب با حفظ محدود سیالیت آن بستگی دارد [۷۰]. تحقیقات نشان داده تثبیت کامل بورات در چوب می‌تواند موجب از دست رفتن کامل اثرگذاری زیستی آن شود [۷۱]. بورات‌ها ویژگی‌های زیست-محیطی بسیار مناسبی به‌عنوان یک ماده حفاظتی دارند اما مانع اصلی در استفاده فراگیر از این ماده حساسیت آن‌ها به آبشویی است[۱۰].

اخیراً سه مقاله مهم در مورد بورات‌ها و تثبیت آن‌ها، به‌صورت مرور منابع چاپ شده است: Caldeira (۲۰۱۰)؛ Freeman و همکاران (۲۰۰۹)؛ Obanda و همکاران (۲۰۰۸).

Obanda و همکاران (۲۰۰۸) تمام تحقیقات انجام‌شده در بیست سال گذشته در مورد تثبیت بورات‌ها را بازنگری کرده و آن‌ها را در ۱۵ گروه مختلف طبقه‌بندی کردند [۱۳]. در هر گروه مقاومت چوب‌های تیمار شده در مقابل عوامل مخرب، مقاومت به آبشویی و قابلیت کاربرد تجاری بحث شده است. تاکنون هیچ تجاری‌سازی در مورد اکثر این روش‌ها صورت نگرفته است [۱۴]. هنوز سؤالات زیادی پیرامون این روش‌ها و راه زیادی برای تکمیل آن‌ها وجود دارد. خلاصه‌ای از روش‌های بررسی‌شده توسط Obanda و همکاران (۲۰۰۸) در جدول ۲ آمده است. روش‌های جدیدتری به این لیست اضافه شده و یا اصلاحات زیادی در مورد روش‌های موجود انجام شده است. موفقیت‌های زیادی در مسیر تثبیت بورات‌ها به دست آمده است ولی این مشکل به‌طور کامل حل نشده است.

نقطه مشترک تمام این روش‌ها تثبیت ناقص بورات است. برای مثال آبشویی OSB تیمار شده با ZB توسط Lee و Wu (۲۰۰۷) مطالعه شده است. نتایج نشان داد در حقیقت تمامی بورات در مراحل اولیه آبشویی از تخته‌ها خارج می‌شود. شسته شدن خط چسب براثر واکشیدگی ضخامت (۱) و تجزیه ZB به اسید بوریک قابل‌حل در آب (۲) دو دلیل عمده آبشویی ZB از تخته-های OSB است [۷۲].

مثال دیگری از شکست روش‌های تثبیت بورات تلاشی بود که توسط Humar و همکاران (۲۰۰۴) انجام شده است [۷۳]. درحالی‌که CCB به‌عنوان یک ترکیب حفاظتی مقاوم به آبشویی شناخته می‌شود، اما نتایج نشان داد که چوب‌های تیمار شده با CCB بعد از آبشویی نسبت به حمله قارچ‌های مقاوم به مس (پوسیدگی قهوه‌ای) حساس می‌شوند. در حقیقت تقریباً ۱۰۰ درصد بورات تنها چند روز بعد از شروع آبشویی از چوب تیمار شده با CCB خارج می‌شود.

هرکدام از روش‌های گفته‌شده در جدول ۲ مزایا و معایبی دارند. با توجه به شرایط می‌توان یکی از این روش‌ها را استفاده کرد. برخی از آن‌ها بسیاری مقرون‌به‌صرفه و کاربردی هستند اما تأثیرگذاری آن‌ها برای کوتاه‌مدت مناسب است. برخی دیگر بسیار مؤثر هستند اما هزینه و پیچیدگی آن‌ها مانع تجاری‌سازی شده است.

جدول ۲- سیستم‌های پیشنهادشده برای کاهش آبشویی بورن در طی دو دهه اخیر [۱۳]

ردیف	سیستم	خلاصه روش
۱	تیمار سطحی	اندود چوب‌های تیمار شده با لایه‌ای از اندود، رزین و یا سایر مواد آب‌گریز به‌عنوان مانعی در برابر آبشویی و نفوذ آب
۲	تیمار ثانویه	چوب‌های اشباع‌شده با بورات‌ها در مرحله دوم با کرئوزوت اشباع می‌شوند
۳	رزین‌های آب‌گریز	کاهش فیزیکی دسترسی آب به چوب به‌وسیله اشباع هم‌زمان با عوامل آب‌گریز
۴	ترکیبات بورات آلی (اسیدهای بورنیک و بورونیک)	اسیدهای آروماتیک بورونی نسبت به آبشویی مقاوم هستند که به خاطر واکنش آن‌ها با سایر ترکیبات آروماتیک چوب از قبیل لیگنین است.
۵	رسوب نمک‌های آلی	ترکیب شیمیایی بورات با یک ماده شیمیایی دیگر با قابلیت تشکیل کمپلکس نامحلول در آب
۶	ترکیب یک ماده آفت‌کش با یک ماده غیر آفت‌کش	افزودن مواد غیر آفت‌کش داخل سیستم حفاظتی، باعث افزایش کارایی آن می‌شود. تیمار چوب با بورات‌ها و سپس با N`N-۸,۱-نفتالیل هیدروکسیلامین باعث کاهش آبشویی بورون از چوب و افزایش کارایی فرمول حفاظتی می‌شود
۷	بورات‌های فلزی	ZB مقاومت بهتری نسبت به آبشویی دارد. بورات مس نیز قابلیت حفاظت بلندمدت از چوب را دارد. همچنین می‌توان از تیمار دومرحله‌ای بورات‌های غیر آلی و نمک‌های فلزی به‌منظور تشکیل رسوبات نامحلول در آب استفاده کرد
۸	بورات‌های فلزی آمینی و آمونیاکی	محلول بورات فلزی و اسید استیک و یا آمونیاک می‌تواند به‌طور شیمیایی در چوب تثبیت شود. همچنین سیستم فاقد فلز نیز با استفاده از ترکیبات کربوکسیلات آمونیوم کوارترنری و یا بورات آمونیوم کوارترنری مقاومت به آبشویی بیشتری دارد
۹	بورو استرهای پایدار شده	استر بورات‌ها نسبت به بورات‌های معدنی مقاومت به آبشویی بیشتری دارند. مانند بورات آمین تری-آلکیل، بورات تری‌آلکانولامین، بورات تری‌آلکانولامید و غیره
۱۰	پروتئین بورات	اسید بوریک می‌تواند به تشکیل شبکه با پروتئین‌های گیاهی و حیوانی کمک کرده و به‌طور جزئی در این ساختار تثبیت شود. این سیستم سیالیت بورون به‌منظور حفظ عملکرد بیولوژیک آن را فراهم می‌کند
۱۱	خودتراکمی تانن	تانن‌ها می‌توانند به خاطر ویژگی‌های کیلیت کننده باعث تثبیت آفت‌کش‌ها شوند. در این سیستم اسید بوریک باعث تحریک واکنش‌های خودتراکمی تانن شده و در ادامه به‌طور نسبی در شبکه‌ای از تانن تثبیت می‌گردد
۱۲	بسپارش درجا	چوب‌های تیمار شده با اسید بوریک و در ادامه با مونومرهای وینیل پنج بار آبشویی کمتری دارند
۱۳	بخار ترکیبات بورات آلی و اسید بوریک	تیمار فرآورده‌های مرکب چوبی با بخار بورون به‌وسیله تری متیل بورات و همچنین تیمار با بخار بوراکس و اسید بوریک باعث افزایش مقاومت به آبشویی می‌شود
۱۴	سیلیکات- بورون	کاهش آبشویی بورون به‌وسیله سیلیکات‌های فلزی قلیایی، به‌عنوان‌مثال چوب تیمار شده با اسید سیلیسیک و اسید بوریک، مقاومت زیادی نسبت به آبشویی دارد
۱۵	اصلاح فیزیکی	فشرده‌سازی چوب با حرارت‌دهی، باعث کاهش حجم خلل و فرج چوب و جذب آب می‌شود درنتیجه آبشویی بورون نیز کاهش می‌یابد

اخیراً ابداعات جدیدی بر اساس روش‌های ذکرشده انجام گرفته است. Palanti و Feci (۲۰۱۳) از سوسپانسیون نانو سیلیس برای تثبیت بورات استفاده نمودند (مربوط به ردیف چهاردهم جدول ۲). نتایج بسیار رضایت‌بخش بود. میزان آبشویی بورات بعد از آزمون آبشویی ۱۴ روزه تنها ۲۳٪ بود. دوام طبیعی به‌دست‌آمده با استفاده از این فرمول‌بندی با توجه به استاندارد (۱۹۹۵) EN 350-1 در کلاس یک (خیلی بادوام) قرار گرفت که عمر مفیدی در حدود ۲۵ سال را می‌تواند فراهم کند [۷۴].

یکی از آخرین تلاش‌ها جهت تثبیت بورات توسط Salman و همکاران (۲۰۱۴ و ۲۰۱۷) انجام شده است (ترکیبی از روش‌های گفته‌شده در ردیف سوم، دوازدهم و پانزدهم جدول ۲). در این روش از تیمار حرارتی جهت تثبیت بورات استفاده شده است. پیش از تیمار حرارتی، چوب با بورات و دو ماده آب‌گریز شامل مشتقات قابل بسپارش پلی-گلیسرول اشباع شد. نتایج نشان داد اصلاح حرارتی در حضور مواد آب‌گریز کننده باعث مقاومت بورون به آبشویی می‌شود و چوب اصلاح حرارتی شده با این روش مقاومت خوبی در برابر موریانه‌ها دارد [۷۶ و ۷۷].

از سایر روش‌های که در جدول ۲ به آن اشاره نشده است استفاده از بورات‌ها در داخل خط چسب فرآورده‌های مرکب چوبی است که بر اساس تحقیقات می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی آبشویی بورات را کاهش دهد [۵۳].

اخیراً مکانیسمی که توسط Pizzi و Baecker (۱۹۹۶) در مورد اثر متقابل بین تانن و اسید بوریک ابداع شده بود (ردیف یازدهم جدول ۲) توسعه یافته و مطالعات زیادی جهت بررسی ابعاد مختلف این روش انجام شده است [۷۰]. مطالعات تکمیلی بر روی این مکانیسم نشان داد که گیرایی تانن متراکم به‌وسیله سخت‌کننده هگزامین و در شرایط قلیایی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی از آبشویی بورات بکاهد [۱۹ و ۷۸]. این فرمول‌بندی نتایج بسیار رضایت-بخشی داشت و بعدها ویژگی‌های حفاظتی آن جهت استفاده کاربردی در شرایط خارج ساختمانی مطالعه شد [۷۹ و ۸۰].

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این بررسی را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

- بورات‌ها نسبت به سایر آفت‌کش‌ها اثرگذارتر بوده و در مقابل طیف وسیعی از عوامل مخرب زنده اعم از قارچ و موریانه مؤثر هستند، از طرفی بورات‌ها در دوزهای بالاتر به‌عنوان یک کندسوز کننده نیز عمل می‌کنند و اثرات منفی آن‌ها بر روی خواص مکانیکی چوب یا چندسازه‌های چوبی کمتر از کندسوز کننده‌های فسفری یا نیتروژنی است.
- بورات‌ها نسبت به سایر آفت‌کش‌ها اثرگذارتر بوده و در مقابل طیف وسیعی از عوامل مخرب زنده اعم از قارچ و موریانه مؤثر هستند، از طرفی بورات‌ها در دوزهای بالاتر به‌عنوان یک کندسوز کننده نیز عمل می‌کنند و اثرات منفی آن‌ها بر روی خواص مکانیکی چوب یا چندسازه‌های چوبی کمتر از کندسوز کننده‌های فسفری یا نیتروژنی است.
- بورات‌ها نسبت به سایر آفت‌کش‌ها اثرگذارتر بوده و در مقابل طیف وسیعی از عوامل مخرب زنده اعم از قارچ و موریانه مؤثر هستند، از طرفی بورات‌ها در دوزهای بالاتر به‌عنوان یک کندسوز کننده نیز عمل می‌کنند و اثرات منفی آن‌ها بر روی خواص مکانیکی چوب یا چندسازه‌های چوبی کمتر از کندسوز کننده‌های فسفری یا نیتروژنی است.
- برای حفاظت از فرآورده‌های مرکب چوبی تمام‌شده در برابر عوامل مخرب زنده استفاده از بخار ترکیبات فرار بورون روشی ایده‌آل بوده و دارای حداقل اثرات منفی بر روی مقاومت‌های مکانیکی چندسازه است. در این روش بورون در فاز بخار وارد چوب شده و معایب روش‌های تر را ندارد.
- پیش تیمار اجزای چوبی مورداستفاده در ساخت فرآورده‌های مرکب چوبی روش مناسبی برای بارگذاری مقدار مطلوب بورات در داخل چوب است. از این روش اغلب برای افزایش مقاومت به آتش استفاده می‌شود.

استفاده هم‌زمان و ترکیبی از بورات‌های بازی و اسیدی باعث کاهش اثرات منفی بر روی ویژگی‌های فیزیکی-مکانیکی فرآورده خواهد شد.

- استفاده از بورات‌های با روش‌های در حین تولید دارای مزایایی زیادی است و نیازی به دست‌کاری زیاد در لجستیک کارخانه نیست. با انتخاب درست گونه‌های چوبی، نوع بورات، مقدار جذب آن و همچنین تنظیم پارامترهای فرآیند تولید امکان ساخت فرآورده‌هایی با دوام مناسب بدون کاهش در خواص مکانیکی آن‌ها وجود دارد.
- روش‌های مختلف پیشنهادشده برای تثبیت بورات‌ها در چوب یا فرآورده‌های مرکب چوبی اگرچه نویدبخش بوده‌اند اما همچنان سؤالات زیادی پیرامون این موضوع وجود دارد.

منابع

[1] Reid, H., Huq, S., Inkinen, A., MacGregor, J., Macqueen, D., Mayers, J., Murray, L. and Tipper, R., 2004. Using wood products to mitigate climate change: a review of evidence and key issues for sustainable, International Institute for Environment and Development, London. 90p.

[2] Shi, S. and Walker, J., 2006. Primary wood processing: 391–426. In J. Walker, ed. Amsterdam: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 596p.

[3] Zobel, B., 1984. The changing quality of the world wood supply. Wood Science and Technology, 18(1): 1–17.

[4] Reinprecht, L., 2016. Wood Deterioration, Protection and Maintenance, John Wiley & Sons. 337p.

[5] Youngquist, J.A., 2010. Wood-based Composites and Panel Products. Chapter 11, In: Ross, R. J, ed. Wood Handbook Wood as an Engineering Material. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL- GTR-190, 509 p.

[6] Laks, P.E., 2002. Biodegradation susceptibility of untreated engineered wood products. In: Proceedings of Enhancing the Durability of Lumber and Engineered Wood Products. FPS Symposium Proceedings No. 7249. Madison, WI: Forest Products Society, pp. 125–130.

[7] Lebow, S.T., 2010. Wood Preservation. Chapter 15, In: Ross, R. J, ed. Wood handbook wood as an engineering material. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190, 509 p.

[8] Shmulsky, R. and Jones, P.D., 2011. Forest products and wood science 6th ed., Wiley-Blackwell. 478p.

[9] Hill, C.A.S., 2006. Wood modification, 1st ed., John Wiley & Sons. 239p.

[10] Caldeira, F., 2010. Boron in wood preservation–a review in its physico-chemical aspects. Silva Lusitana, 18(2): 179–196.

[11] Lebow, S., 2004. Alternatives to chromated copper arsenate for residential construction. Res. Pap. FPL-RP-618. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 9 p.

[12] Lloyd, J. D., 1997. International status of borate perservative systems. In: Proceedings of The seconed international conference on wood protection with diffusible preservatives and pesticidesed. Forests Products Society. Alabama, pp. 45–54.

[13] Obanda, D.N., Shupe, T.F. and Barnes, M.H., 2008. Reducing leaching of boron-based wood preservatives - a review of research. Bioresource technology, 99(15): 7312–7322.

[14] Freeman, M.H., Mcintyre, C.R. and Jackson, D., 2009. A critical and comprehensive review of boron, in

wood preservation. In: Proceedings of the American Wood Protection Assoc.-AWPA, 105. pp. 279–294.

[15] Lloyd, J. D., Fogel, J. L. and Vizel, A., 2001. The use of zirconium as an inert fixative for borates in preservation. In: Proceedings of The International Research Group on Wood Preservation. Section 3 – Wood Protection Chemical. Document IRG/WP 01-30256. Nara, Japan.

[16] Kirkpatrick, J.W. and Barnes, H.M., 2006. Biocide Treatments for Wood Composites - A Review. In: Proceedings of The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 06-40323. 18-22 June, Tromsoe, Norway.

[17] Luo, J., Chen, H. and Morrell, J.J., 2005. Effect of borate on uptake and efficacy of an anti-sapstain treatment. In: Proceedings of The International Research Group on Wood Protection, IRG/WP 05-30380. Bangalore - India.

[18] Lloyd, J. D., Schoeman, M.W.and Stanley, R., 1998. Remedial timber treatment with borates. In W. H. Robinson, F. Rettich, & G. W. Rambo, eds. 3rd international conference on urban pests. Czech Republic, pp. 415–423.

[19] Thevenon, M.F., Tondi, G. and Pizzi, A., 2009. High performance tannin resin-boron wood preservatives for outdoor end-uses. European Journal of Wood and Wood Products, 67(1): 89–93.

[20] Lebow, S. et al., 2012. Guide for In-Place Treatment of Wood in Historic Covered and Modern Bridges. General Technical Report FPL-GTR-205. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 43 p.

[21] Humar, M. and Lesar, B., 2008. Fungicidal properties of individual components of copperethanolamine-based wood preservatives. International Biodeterioration & Biodegradation, 62(1):46–50.

[22] Drysdale, J.A., 1994. Boron treatments for the preservation of wood: A review of efficacy data for fungi and termites. In International Research Group on wood preservation. IRGWP94-30037. 29 May-3 June, Nusa Dua, Bali, Indonesia.

[23] Schoeman, M.W. and Lloyd, J.D., 1998. International standardisation: a hypothetical case study with stand-alone borate wood preservatives. In International Research Group on Wood Preservation IRG/WP 98-20147.14-19 June, Maastricht, The Low Countries.

[24] Ahmed, B.M. and French, J.R.J., 2005. Report and recommendations of the national termite workshop, Melbourne. International Biodeterioration and Biodegradation, 56(1): 69-74.

[25] Williams, L.H. and Amburgey, T.L., 1987. Integrated protection against lyctid beetle infestations: IV. Resistance of boron-treated wood to insect and fungal attack. Forest products journal, 37(2):10–17.

[26] Kartal, S.N., Hwang, W. J., Shinoda, K., and Imamura, Y., 2004. Decay and termite resistance of wood treated with boron-containing quarternary ammonia compound, didecyl dimetyl ammonium tetrafluoroborate (DBF) incorporated with acryl-silicon type resin. The International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 04-03334,6-10 June, Ljubljana, Slovenia.

[27] Reinprecht, L., 2010. Fungicides for Wood Protection – World Viewpoint and Evaluation/Testing in Slovakia: 95-122. In O. Carisse, ed. Fungicides. InTech, 548p.

[28] McCutcheon, S., Smith, G. M., Palfreyman, J. W., and Durrant, P., 1996. Effects of boron treatments on partially decayed oak and pitch pine heartwood. In International Research Group on Wood Preservation, IIRG/WP 96-30106. 19-24 May, Guadeloupe, French.

[29] Lesar, B., Pohleven, F. and Humar, M., 2010. Use of boron compounds for treatment of wooden historical objects. In Proceedings of Wood Science for Conservation of Cultural Heritage. pp. 2–6. Hamburg, Germany.

[30] Nine, M. J., Tran, D. N., Tung, T. T., Kabiri, S., and Losic, D., 2017. Graphene-Borate as an Efficient Fire Retardant for Cellulosic Materials with Multiple and Synergetic Modes of Action. ACS Applied Materials and Interfaces, 9(11): 10160–10168.

[31] Tsunoda, K., 2001. Preservative properties of vapor-boron-treated wood and wood-based composites. Journal of Wood Science, 47(2): 149–153.

[32] LeVan, S. L. and Winandy, J.E., 1990. Effects of fire retardant treatments on wood strength: a review. Wood and Fiber Science, 22(1): 113–131.

[33] Winandy, J. E., LeVan, S. L., Schaffer, E. L.and Lee, P. W., 1988. Effect of Fire-Retardant Treatment and Redrying on the Mechanical Properties of Douglas-Fir and Aspen Plywood. Research paper, FPL-RP-485, Forest Service, Forest Products Laboratory, U.S. Department of Agriculture, Madison, WI, 20 p.

[34] Ross, A.S., Ward, H.A. and Smith, W.R., 2003. An overview on new generation of preservation treatments for wood-based panels and other engineered wood products. In: Proceedings of the 7th European Panel Products Symposium. pp. 219–225.8-10 October, Wales, UK.

[35] Smith, W.R. and Wu, Q., 2005. Durability improvement for structural wood composites through chemical treatments current state of the art. Forest Products Journal, 55(2): 8–17.

[36] Wu, Q., 2004. Preservative-treated Structural Wood Composites For Durable Home Construction. In Procceding of NSF and HUD Housing Research Workshop, pp. 200–208. 11-14February, Orlando, USA.

[37] Manning, M.J., 2002. Wood protection processes for engineered wood products. In: Proceedings of Enhancing the Durability of Lumber and Engineered Wood Products. FPS Symposium. Forest Products Society. pp. 131–136. Madison, USA.

[38] Tascioglu, C. and Tsunoda, K., 2010. Biological performance of copper azole-treated wood and wood-based composites. Holzforschung, 64(3): 399–406.

[39] Tascioglu, C. and Tsunoda, K., 2012. Retention of copper azole and alkaline copper quat in wood-based composites post-treated by vacuum impregnation. Wood Research, 57(1): 101–110.

[40] Tascioglu, C., Yoshimura, T. and Tsunoda, K., 2013a. Biological Decay and Termite Resistance of Post-Treated Wood-Based Composites under Protected Above-Ground Conditions : A Preliminary Study after 36 Months of Exposure. Bioresource, 8(1): 833–843.

[41] Tascioglu, C., Akcay, C., Yalcin, M. and Sahin, H. I., 2014. Effects of post-treatment with CA and CCA on screw withdrawal resistance of wood based. Wood research, 59(2): 343–350.

[42] Khouadja, A. and Barens, H.M., 2001. Treatment and redrying of western hemlock plywood. Forest products journal, 51(1), pp.74–80.

[43] Murphy, R. J., Dickinson, D. J., Turner, P., Wickens, P. J. and Hashim, R. 1993. Vapor boron treatment of wood composites: production of wood- based composite products. In IUFRO Symposium on Protection of Wood-Based Composite Products, Orlando, FL, Forest Products Society, Madison, WI. pp. 49–56.

[44] Turner, P., Murphy, R.J. and Dickinson, D.J., 1990. Treatment of wood-based panel products with volatile borate. In International Research Group on Wood Preservation document, IRG/WP 3616, 13-19 May, Rotorua, New Zealand.

[45] Barnes, H. and Murphy, R.., 2004. Bending and tensile properties of vapor boron treated composites. Wood and Fiber Science, 37(3): 379–383.

[46] Barnes, H.M., 2012. Durable Composites : An Overview. Proceedings of the American Wood Protection Assoc.-AWPA, 107. pp. 267–279.

[47] Colakoglu, G., Colak, S., Aydin, I., Yildiz, U. C. and Yildiz, S. 2003. Effect of Boric Acid Treatment on Mechanical Properties of Laminated Beech Veneer Lumber. Silva Fennica, 37(4): 505–510.

[48] Kartal, N.S., Ayrilmis, N. and Imamura, Y., 2007. Decay and termite resistance of plywood treated with various fire retardants. Building and Environment, 42(3): 1207–1211.

[49] Efhamisisi, D., Thevenon, M. F., Hamzeh, Y., Karimi, A. N., Pizzi, A. and Pourtahmasi, K., 2016. Induced tannin adhesive by boric acid addition and its effect on bonding quality and biological performance of poplar plywood. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 4(5), 2734-2740.

[50] Mamatha, B. S., Sujatha, D., Nath, S. K., Uday, D. N. and Nandanwar, A., 2017. Development of Fire Retardant Wood Composite Using Amino Resin: 353-361. In Pandey, K. K., Ramakantha, V., Chauhan, S. S., and Arun Kumar, A. N., eds. Wood is Good. Singapore: Springer. 479p.

[51] Aydin, I.and Colakoglu, G., 2007. Variation in surface roughness, wettability and some plywood properties after preservative treatment with boron compounds. Building and Environment, 42(11): 3837–3840.

[52] Aydin, I., 2014. Effects of veneer drying at high temperature and chemical treatments on equilibrium moisture content of plywood. Maderas. Ciencia y tecnología, 16(4): 445–452.

[53] Bridaux, V., Charrier, B., Fauroux, N., Charrier, F.and Goncalez, J., 2001. Addition of Boron Based Compound in the LVL Glueline: Effect on the Mechanical Properties and the Leaching of Boron. Holzforschung, 55(5): 559–562.

[54] Nagieb, Z.A., Nassar, M.A. and El-Meligy, M.G., 2011. Effect of Addition of Boric Acid and Borax on Fire-Retardant and Mechanical Properties of Urea Formaldehyde Saw Dust Composites. International Journal of Carbohydrate Chemistry, 2011(1): 1–6.

[55] Lesar, B., Ugovsek, A., Kariz, M., Sernek, M.and Humar, M., 2011. Influence of boron compounds in adhesives on the bonding quality and fungicidal properties of wood. Wood research, 56(3): 385–392.

[56] Colakoglu, G. and Demirkir, C., 2006. Characteristics of plywood panels produced with urea formaldehyde resin containing borax. Holz als Roh- und Werkstoff, 64(3): 250–251.

[57] Sensogut, C., Ozalp, M. and Yesil, H., 2009. The effect of borax pentahydrate addition to urea formaldehyde on the mechanical characteristics and free formaldehyde content of plywood. International Journal of Adhesion and Adhesives, 29(5): 589–592.

[58] Efhamisisi, D., Hamzeh, Y., Thevenon, M. F.,Pizzi, A., Karimi, A. and Pourtahmasi, K., 2015. Accelerated Autocondensation of Quebracho Tannin Wood Adhesive by Boric Acid. Iranian journal for forest and wood Product ,68(1): 149–160.

[59] Efhamisisi, D., Thevenon, M. F., Hamzeh, Y., Pizzi, A., Karimi, A.and Pourtahmasi, K., 2017. Tannin-boron complex as a preservative for 3-ply beech plywoods designed for humid conditions. Holzforschung, 71(3): 249-258.

[60] Ayrilmis, N., 2007. Effect of fire retardants on internal bond strength and bond durability of structural fiberboard. Building and Environment, 42(3): 1200–1206.

[61] Ozdemir, F. and Tutuş, A., 2013. Effects of Fire Retardants on the Combustion Behavior of High-Density Fiberboard. Bioresource, 8(2): 1665–1674.

[62] Laks, P.E., 1999. The past, present, and future of preservative-containing composites. In: Proceedings of 33rd International Particleboard/Composite Materials Symposium. pp. 151–158. Pullman, WA.

[63] Xu, X., Lee, S., Wu, Y.and Wu, Q., 2013. Borate-Treated Strand Board from Southern Wood Species: Resistance Against Decay and Mold Fungi. Bioresource, 8(1): 104–114.

[64] Wu, Q., Lee, S. and Lee, J.N., 2002. Mechanical, Physical, and Biological Properties of Borate-Modified Oriented Strand board. In: Procceding of International Conference on Advances in Building Technology. Hong Kong, China.

[65] Simonsen, J., Freitag, C. M., Silva, A.and Morrell, J. J., 2004. Wood/plastic ratio: Effect on performance of borate biocides against a brown rot fungus.*Holzforschung*, 58(2): 205–208.

[66] Tascioglu, C., Yoshimura, T. and Tsunoda, K., 2013b. Biological performance of wood–plastic composites containing zinc borate: Laboratory and 3-year field test results. Composites Part B: Engineering, 51(1): 185–190.

[67] Altuntas, E., Narlioglu, N. and Hakki Alma, M., 2017. Investigation of the Fire, Thermal, and Mechanical Properties of Zinc Borate and Synergic Fire Retardants on Composites Produced with PP-MDF Wastes. Bioresource, 12(4): 6971–6983.

[68] Lindholm, J., Brink, A. and Hupa, M., 2016. Influence of fire retardants on the reaction-to-fire properties of coextruded wood–polypropylene composites. Fire and materials, 40(1): 535–543.

[69] Badritala, A., Hashemi, S. K. H., Kord, B., Zabihzadeh, S. M.and Safdari, V., 2013. Morphology and Mechanical Properties of Zinc Borate- Pretreated Poplar Wood Flour/Plastic Composite. Bioresource, 8(1): 913–922.

[70] Pizzi, A. and Baecker, A., 1996. A new boron fixation mechanism for environment friendly wood preservatives. Holzforschung, 50(6): 507–510.

[71] Lloyd, J. D., Dickinson, D.J. and Murphy, R.J., 1990. The Probable Mechanisms of action of boric acid and borates as wood preservatives. In International Research Group on Wood Preservation. IRG/WP/1450. 13-19 May, Rotorua, New Zealand.

[72] Lee, S.-Y.and Wu, Q., 2007. Leachability of Zinc Borate-Modified Oriented strandboard. Mokchae Knoghak, 35(5): 46–57.

[73] Humar, M., Pohleven, F.and Amartey, S. a., 2004. Influence of boron in CCB formulation on growth and decay capabilities of copper tolerant fungi. Holz als Roh- und Werkstoff, 62(3), pp.177–180.

[74] Palanti, S. and Feci, E., 2013. A Wood Preservative Based on Commercial Silica Nanodispersions and Boric Acid against Fungal Decay through Laboratory and Field Tests. Open Journal of Forestry, 3(2): 57–61.

[75] Salman, S., Pétrissans, A., Thévenon, M. F., Dumarçay, S., Perrin, D., Pollier, B.and Gérardin, P., 2014. Development of new wood treatments combining boron impregnation and thermo modification: effect of additives on boron leachability. European Journal of Wood and Wood Products, 72(3): 355-365.

[76] Salman, S., Thévenon, M. F., Pétrissans, A., Dumarçay, S., Candelier, K.and Gérardin, P., 2017. Improvement of the durability of heat-treated wood against termites. Maderas. Ciencia y tecnología, 19(3): 317-328.

[77] Tondi, G., Palanti, S., Wieland, S., Thevenon, M. F., Petutschnigg, A.and Schnabel, T., 2012. Durability of tannin-boron-treated timber. BioResources, 7(4), 5138-5151.

[78] Tondi, G., Schnabel, T., Wieland, S.and Petutschnigg, A., 2013. Surface properties of tannin treated wood during natural and artificial weathering. International Wood Products Journal, 4(3): 150-157.

[79] Tondi, G., Hu, J.and Thevenon, M. F., 2015. Advanced tannin based wood preservatives. Forest Products Journal, 65(3-4):526-526.

Borates and their applications to preserve wood-based composites

Abstract

Wood and any items made from the wood may be destroyed by biologic and abiotic agents in unsuitable conditions. So far, different materials and methods have been developed to improve disadvantages of wood. Nowadays, researchers are looking for safe and eco-friendly preservatives due to the public concerns about the negative impacts of old ones. Borates are good candidate for new generation of wood preservatives due to the low acute toxicity for mammalians. Borates have board-spectrum efficacy, they are not only fungicide and insecticide but also act as a fire retardant. They are easily dissolved in water and can be diffused deeper into the wood over the time. This is also their biggest disadvantage. Preservatives based on the borate formulations may be easily leached out from the treated wood in the outdoor applications. Today, despite the problems coming from their leaching, they are widely used to protect wood and in particular wood-based composites due to their low toxicity. This study attempts to review the latest research on the possibility of using borates as pesticides and fire retardant in the industry of wood-based composites. Borates have a great potential for protecting wooden composites which are currently commercially used.

Keywords: borates, wood-based composites, biological deterioration, fire, environment.

D. Efhamisisi[1*]
Y. Hamzeh[2]

[1] Assistante Prof., Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

[2] Professor, Department of wood and paper science and technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Corresponding author:
efhami@ut.ac.ir

Received: 2017/11/27
Accepted: 2018/05/08