مقاوم‌سازی چوب تبریزی در برابر آتش برای بسته‌بندی کالا از طریق اشباع کردن با روش بتل

مصطفی امام پور[۱]، سیدمحمدجواد سپیده دم* [۲]، سعید مهدوی[۳]

تاریخ دریافت مقاله: اردیبهشت ماه۱۳۹۳

تاریخ پذیرش مقاله: مردادماه ۱۳۹۳

چکیده

در این تحقیق، امکان مقاوم کردن چوب تبریزی نسبت به آتش بررسی گردید. نمونه‌های آزمونی مربوط به اندازه‌گیری خواص مقاومت به آتش، طبق استاندارد ISO 11925 تهیه گردیدند. در این تحقیق، برای اشباع کردن از روش بتل[۴] استفاده شده است. در مورد ویژگی‌های اندازه‌گیری شده مربوط به خواص مقاومت به آتش نمونه‌ها از بین مواد مختلف، نمونه‌های اشباع شده با آمونیوم بروماید به روش بتل، بهترین نتایج را نشان دادند. اعمال تیمارها در چوب‌ها باعث افزایش جذب اولیه نسبت به نمونه‌های شاهد شد به گونه‌ای که چوب تبریزی تیمار شده دارای بیشترین میزان جذب اولیه بود. در مورد جذب ثانویه نیز می‌توان بیان داشت که اعمال تیمارها، باعث افزایش این شاخص شده است. بر اساس یافته‌های تحقیق، وزن نمونه‌های تیمارشده بعد از سوختن کاهش معنی‌داری نداشت.

واژه‌های کلیدی

کندسوز کردن، آمونیوم بروماید، دی آمونیوم هیدروژن فسفات، بوراکس سدیم، روش بتل و چوب تبریزی[۵].

۱- مقدمه

یکی از تمهیدات مهم در شرایطی که چوب به عنوان یک مادهٔ خام در یک سازه مورد استفاده قرار می‌گیرد، مسئله حفاظت آن در برابر آتش است. چوب به عنوان ماده مهندسی، کاربردهای متنوعی دارد. عملکرد منفی چوب و فرآورده‌های چوبی در برابر آتش، یکی از عوامل کاهش کاربرد آن‌ها محسوب می‌شود. استفاده از چوب و فرآورده‌های چوبی در ایران و سایر کشورهای جهان روز به روز از گستردگی و تنوع بیشتری برخوردار می‌شود و حفاظت از این محصولات در حال گسترش می‌باشد(یعنی در واقع مقدار ایمنی و دوام این محصولات برای مصرف‌کنندگان اهمیت زیادی پیدا می‌کند)[۱ و۲]. چوب، در بیشتر کشورهای دنیا به عنوان یک ماده مناسب برای ساخت جعبه در صنایع نظامی کاربرد دارد(شکل ۱).

شکل ۱- بسته‌های چوبی بستری مناسب برای شعله‌ور کردن آتش می‌باشد.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد حفاظت و اصلاح چوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

(* نویسنده مسئول:Jsepidehdam @yahoo.com)

۳- استادیار مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور

4- Bethel methods

در این روش از تحقیق از دستگاه مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور استفاده شده است.

5- Populus nigra

همچنین نه تنها یکی از ویژگی‌های مهم مصالح ساختمانی کندسوز بودن یا مقاوم بودن چوب‌ها در برابر آتش می‌باشد، بلکه یکی از شایع‌ترین حوادثی که در ساختمان‌ها و محصولات چوبی رخ می‌دهد، زوال چوب در اثر آتش می‌باشد که سالانه خسارت‌های جانی و مالی زیادی به مصرف‌کنندگان این محصولات وارد می‌نماید[۳].

ایجاد افزایش ضریب ایمنی بسته‌بندی‌های چوبی برای شرکت‌ها و مراکز بزرگی که دارای ذخیره‌سازی طولانی مدّت کالا دارند، کمک خواهد کرد تا در شرایط قرار گرفتن حریق از ضایعات اقلام و تلفات انسانی جلوگیری گردد. امروزه شاهد حوادث ناشی از حریق در کارخانجات بزرگ دنیا هستیم که به سبب ناامن شدن محیط و یا تحت شرایط بد نگه‌داری اقلام دچار آتش‌سوزی‌های بزرگ می‌شوند. به ویژه انبارهایی که حاوی محصولات و مواد خطرناک نظیر: مواد شیمیایی، رنگی، روغنی و منفجره. می‌باشند(شکل ۲) [۵ و٤].

شکل ۲- جعبه‌های چوبی مهمات

چوب تبریزی(که نام‌های دیگر آن ابودقیق، تبریزی، چنار، حور، راجی، صنوبر، شجرالحور و قلمه می‌باشد):

Populus nigra, L.var. pyramidalis Roz. = P.pyramidalis, Rozier= P.dilatata. Ait.= P.italica, Auc= P.fastigiata, Poir.
Fam. Salicaceae.
E.Lombardy poplar.
F.Peuplier pyramidale, P,d' Italie
G. pyramidenpappel

در این تحقیق از چوب تبریزی استفاده شده است که به رنگ سفید تا کرم روشن است و اغلب لکّه‌های سیاه رنگ و یا قهوه‌ای دارد و نسبتاً نرم و سبک بوده و دوام زیادی ندارد و کار با آن آسان است. برای ساخت کاغذسازی، کبریت‌سازی، جعبه‌سازی و ادوات کشاورزی از آن استفاده می‌شود.

تبریزی درختی بزرگ و کشیده است که شاخهٔ آن کمی پهن بوده و پوست ساقه و شاخه‌های آن خاکستری است. برگ آن بی‌کرک و در دو طرف سبز است و دارای دندانه‌هایی منظم و کمی مثلثی است و پرچم دارد، مخصوص نواحی استپی ایران است و در اغلب نقاط کاشته می‌شود. البته **این** چوب زود شکاف برنمی‌دارد و می‌تواند در واگن‌سازی، ادوات کشاورزی، ابزار چوبی منزل و ساختمان داربست شیروانی‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

در ایران، بنا به علل مختلف، جنگل‌های شمال کشور روز به روز توانایی خود را در جهت رفع نیازهای چوبی کشور از دست می‌دهد و رشد بی‌رویه جمعیت بر شدّت این کمبودها می‌افزاید.

۲- آشنایی با مقاوم‌سازی چوب نسبت به آتش

۲-۱- تعریف کلی مواد کند سوزکننده

مواد کندسوزکننده با تغییر مشخصه‌های اشتعال‌پذیری مواد به روش‌های مختلف از جمله کاهش گرمای آزاد شده به پایین‌تر از حد احتراق پیوسته، کاهش مقدار مواد فرّار قابل اشتعال مثلاً با تشکیل لایه ذغال به عنوان یک مانع حرارتی که از رسیدن اکسیژن به ماده برای تداوم فرایند سوختن جلوگیری می‌کند و باعث کاهش شدّت سوختن می‌شوند[٦].

به طور کلی مواد کندسوزکننده از نظر زمان افزودن را به دو دسته تقسیم می‌کنند:

الف- ترکیباتی که در حین واکنش پلی‌مریزاسیون افزوده می‌شوند.

ب- ترکیباتی که هنگام فرآیند افزوده می‌شوند. در این مورد، نوع همزن، شرایط فرآیند و نحوه پخش ماده افزوده شده، خواص نهایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

۲-۲- مشخصات مواد کندسوزکننده

تیمار چوب با کندسوزکننده جنبه تجاری داشته و باعث کاهش تولید گازهای قابل اشتعال در سطح چوب و در نتیجه کاهش شعله‌وری سطوح چوب می‌شود. چوب‌های تیمار شده تمایل به تجزیه و ذغال شدن دارند، ولی عمل سوختن را پشتیبانی نمی‌کنند. فسفات‌های آلی، برم، پلی‌فسفات‌ها و اوره از جمله ترکیبات رایجی هستند که خاصیت کندسوزکنندگی دارند. در یک تیمار مؤثر ۳۵ تا ۸۰ کیلوگرم بر متر مکعب از این مواد در هر متر مکعب(۲/۲ تا ۵ پوند بر فوت مکعب) چوب ضروری است. بسیاری از کندسوزکننده‌های آتش می‌توانند از چوب آب‌شویی شوند، بنابراین مصرف چنین چوب‌های تیمار شده فقط به داخل ساختمان محدود می‌شود. بعضی از کندسوزکننده‌ها مقاوم به آب‌شویی هستند و برای تیمار چوب‌های خارج از ساختمان نظیر تخته‌کوب‌های سقف[1] بکار می‌روند. چوب‌های تیمار شده با کندسوزکننده‌های پیشین نظیر کلرید روی و سولفات آمونیوم نسبت به چوب‌های طبیعی جاذبه‌الرطوبه هستند، یعنی این گونه چوب‌ها پس از تیمار با این مواد، استعداد بیشتری برای جذب رطوبت دارند. در سامانه جدید، این ضعف برطرف شده و کندسوزکننده‌ها کمتر رطوبت جذب می‌کنند و در نتیجه فسادپذیری آن‌ها کمتر است[۸ و۷].

۲-۳- قابلیت سوخت و گرمازایی چوب

از دیگر خواص فیزیکی چوب، قابلیت سوخت و گرمازایی آن است. به طوری که چوب پس از قرار گرفتن در دمای ۲±۱۰۳ درجه سلسیوس آب آغشتگی خود را به مرور از دست می‌دهد. نمونه‌ای از چوب مورد نظر را می‌توان با دستگاه خشک‌کن آزمایشگاهی(اتوو) با تنظیم دمای فوق به صفر درصد رطوبت رساند(شکل ۳).

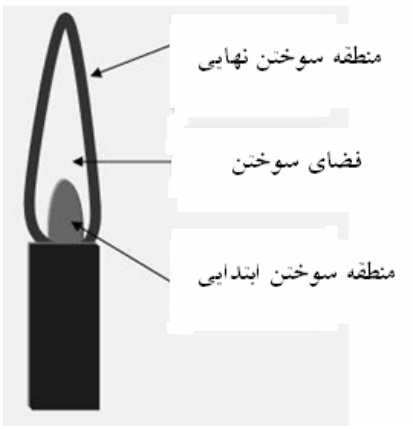
تجزیه گرمایی چوب از ۱۶۰ ساسیوس به بالا شروع می‌گردد و تغییر رنگ چوب نیز از این مرحله حرارتی به بالا صورت می‌گیرد و مواد فرّار از قبیل الکل، گازهای CO و CO_2 از چوب خارج می‌شوند، در این مرحله اگر اکسیژن به مقدار لازم به چوب برسد، با یک جرقه امکان آتش‌سوزی وجود دارد. در دمای بیش از ۲۲۰°C گازهای خروجی از چوب شعله‌ور می‌شوند و لذا دمای ۲۳۰°C را نقطه شعله‌وری می‌نامند. در دمای ۲۶۰°C چوب بدون شعله خارجی به خودی خود به سوختن ادامه می‌دهد.

شکل ۳- دستگاه خشک‌کن(آون) آزمایشگاهی

با افزایش دما تا ۴۰۰°C چوب بدون شعلهٔ تأثیرگذار خارجی به سوختن ادامه می‌دهد، (شکل ٤) به این مرحله نقطه اشتعال می‌گویند. با ادامه آتش و نفوذ آن به عمق چوب در چوب‌های خشک حرارت ۱۸۰۰°C خواهد بود. در چوب‌های مرطوب این مقدار حرارت کم‌تر بوده و مقدار آن در حدود ۱۳۰۰°C است[۹].

قدرت گرمازایی چوب، ساختار شعله و سایر مواد در (جدول ۱) و (شکل ٤) قابل رؤیت می‌باشد.

1- Wood shingles



شکل ٤- ساختار شعله آتش

جدول ١- قدرت گرمازایی چوب و مواد دیگر

ردیف	ماده	قدرت گرمازایی به Kcal/Kg
١	چوب سوزنی برگان	٤٦٠٠
٢	چوب پهن برگان	٤٣٠٠
٣	زغال سنگ	٧٥٠٠
٤	گاز بوتان	١٢٠٠

٢-٤- عملکرد کندسوزکننده

عملکرد کندسوزکننده برای چوب را می‌توان به دو دسته عمده تقسیم کرد:

١) کندسوزکننده‌هایی که در چوب اشباع می‌شوند یا با فرآورده‌های مرکب چوبی آمیخته می‌شوند.

٢) کندسوزکننده‌هایی که به عنوان پوشش سطحی به کار می‌روند(غیرمتورم یا متورم شونده) به عنوان پوشش‌های سطحی یا نوع دوم مقرون به صرفه و اقتصادی‌تر هستند. آن‌ها بیشتر برای محافظت بخشی از ساختار چوبی استفاده می‌شوند. عیب عمده آن‌ها تشکیل ترک‌ها، حساسیت در مقابل خراش و پوسیدگی است که باعث از بین رفتن کارایی کندسوزکنندگی می‌شود[١٠].

٣- انواع روش‌های کندسوز کردن چوب

٣-١- روش پاشش توسط مواد محافظ

یکی دیگر از روش‌های کنترل آتش‌سوزی چوب، استفاده از رنگ‌های مناسب به روی سطح چوب است. این رنگ‌ها می‌توانند رنگ‌های طبیعی با پایه روغنی، رنگ‌های رزینی و یا رنگ‌های لاتکس[1] باشند که در آن‌ها مواد شیمیایی به تأخیرانداز آتش جهت کندسوز کردن وجود دارد. در این روش، محلول کندسوزکننده چوب به وسیله پیستوله بر روی سطح چوب پاشیده و اسپری[2] می‌شود. در روش پاشش، محلول کندسوزکننده روی سطح چوب را پوشانده و قادر به نفوذ در عمق آن نمی‌باشد. استفاده از این روش در آتش‌سوزی مختصر، مؤثر می‌باشد؛ اما چنانچه آتش‌سوزی گسترش یافته و زیاد و طولانی باشد، استفاده از این روش نمی‌تواند کارایی مناسبی داشته باشد. البته در عملیات (فرآیند) اصلی برای مقاوم‌سازی چوب‌ها در برابر آتش‌سوزی بلند مدّت، معمولاً رنگ را به صورت (فیلم) روکش رنگی روی سطح چوب لمینیت[3](پرس) می‌کنند. برای کنترل آتش‌سوزی در مقاطع کوتاه مدّت استفاده از روش پاشش توسط رنگ می‌تواند همان خصوصیات روش روکش‌ها را داشته باشد[١٢ و ١١].

مبنای سنجش کیفیت کندسوز کردن به روش رنگ‌پاشی یا لمینیت کردن فیلم رنگی بر روی چوب برحسب ضخامت لایه به کار گرفته شده بر روی چوب می‌باشد.

رنگ‌آمیزی الوارها با رنگ‌های فوق می‌تواند توسط پرس یا اسپری صورت گیرد. اعمال این روکش‌ها یا پوشش رنگ‌ها بر روی الوارهای چوبی، ساده بوده و تنها به تجهیزات و مهارت مناسب نیاز دارد. همچنین تجدید عملیات روکش معمولاً در مدّت زمان‌های مورد نیاز قابل اعمال خواهد بود(شکل٥)[١٥ و١٤] .

1- Latex
2- Spray
3- Laminate

شکل ۵- روش اسپری کردن

کندسوز کردن چوب با رنگ‌ها برای چوب مضر نبوده و به صورت عمیق در چوب نفوذ نمی‌کند. بدیهی است، این روش آسان‌تر و هزینه آن کمتر بوده؛ اما در مواقع آتش‌سوزی دارای ضریب ایمنی پائین‌تری می‌باشد[۱۷ و۱٦] .

۳-۲- روش غوطه‌وری[1] در مواد محافظ

در این روش، برای کندسوز کردن الوارهای چوبی از حلال‌های تأخیرانداز آتش‌سوزی بر مبنای مواد شیمیایی موجود در چوب استفاده می‌کنند. الوارهای کندسوز شده معمولاً بر مبنای مقدار وزن مواد شیمیایی موجود در هر متر مکعب چوب خرید و فروش می‌شوند.

در این روش در بشکه‌های محتوی مواد آغشتگی، تیرها را به طور عمودی قرار می‌دهند و پس از آغشتگی، تیرها را به طور معکوس مجدداً در بشکه قرار می‌دهند تا قسمت دیگر آن آغشته شود(شکل ٦).

گاهی نیز برای چوب‌های بلندتر، ظروف بزرگ‌تری به کار می‌برند و چوب‌ها را به طور افقی در محلول قرار می‌دهند و با وسایلی(سیم توری) چوب را در ظرف غوطه‌ور نگاه می‌دارند که در این، روش چوب یکنواخت آغشته می‌شود.

شکل٦- روش غوطه‌وری

۳-۳- روش‌های فشار

در این روش از فشاری به اندازه ۵ برابر فشار جو استفاده شد. این روش یکی از روش‌های مهم و موفق در حفاظت چوب می‌باشد. در حالت معمول، چوب‌ها را درون یک مخزن فولادی تحت فشار قرار داده و مواد حفاظتی با قدرت و تحت فشار به درون سلول‌های چوب رانده می‌شوند(شکل ۷).

هدف از این کار، اینست که چوب‌آلات اشباع شده با مواد حفاظتی، بتوانند در مقابل حمله قارچ‌ها، حشرات، موریانه‌ها و حرارت آتش مقاومت کنند و بدین وسیله دوام و پایداری آن‌ها افزایش پیدا کند[۱۹ و۱۸].

شیوه‌های صنعت اشباع در دنیا حدود ۱۵۰ سال قدمت دارد و دو روش در این میان به ترتیب معروف می‌باشد:

۱- با عنوان «سلول پر» یا روش «بتل» که نام مخترع آن است.

۲- «سلول خالی» یا روش روپینگ.

منظور از سلول پر و خالی آن است که در روش اول، سلول‌های چوب، پر از مواد حفاظتی می‌شوند و در روش دوم، سلول‌های چوبی خالی از مواد حفاظتی بوده و فقط دیواره سلولی آغشته به این مواد می‌شود.

1- Immersion

شکل۷- دستگاه اشباع چوب به روش بتل

در این تحقیق برای کندسوزکردن از روش سلول پر استفاده شد. نخستین تیمارهای تجاری با استفاده از این روش، در ایالات متحده و در سال ۱۸۹۵ برای تیمار چوب‌آلات کشتی‌های جنگی نیروی دریایی آمریکا انجام شد. متأسفانه در شرایط مطلوب، تیمار با کندسوزکننده‌ها تأثیرات نامطلوبی بر رنگ‌ها و روکش‌های چوب گذاشته و سبب خوردگی شدید بست‌هایی فلزی می‌شوند، به طوری که در سال ۱۹۰۲ نیروی دریایی استفاده از این مواد را متوقّف کرد. تقریباً در همین زمان، استفاده از چوب‌آلات تیمار شده با کندسوزکننده‌ها برای تمام ساختمان‌های بلندتر از ۱۲ طبقه در نیویورک تصریح شده است و پس از آن این صنعت رو به گسترش گذاشت به شکلی که امروزه در ایالات متحده، سالانه در حدود ۱۰۰۰۰ تن کندسوزکننده استفاده می‌شود(این مقدار ۱۵۰۰ تن در بریتانیا می‌باشد) [۲۰].

٤- گزارش تحقیق

در این تحقیق، کندسوز کردن و تغییر خواص چوب بر روی یکی از پرارزش‌ترین گونه‌های ایرانی یعنی تبریزی از جنگل‌های ایران مورد بررسی قرار گرفته است. کندسوز کردن چوب می‌تواند به طور سطحی و یا به طور عمیق با بکار بردن مواد شیمیایی مختلفی انجام گیرد. از آنجایی که گازهای حاصل از پیرولیز[1] در گسترش آتش مؤثر هستند با استفاده از پوشش‌های عایق می‌توان از تماس این گازها با اکسیژن هوا جلوگیری و در نهایت آتش‌گیری چوب را به تأخیر انداخت[۲۲ و۲۱] . کلیه کلریدهای فلزی بر روی فرآیند سوختن تأثیر دارند. این مواد، پیرولیز را در حرارت ºC ۲۸۰-۱۵۰ تسریع می‌کنند و واکنش‌های تسریع شده به وسیله این کاتالیزورها[2] دارای ویژگی دهیدراسیون[3] می‌باشند که بر روی تشکیل فرآورده‌های فرّار تأثیر می‌گذارند و در نهایت سبب می‌شوند که یک ساختمان کربنی غنی شده بر روی چوب باقی بماند، این نمک‌ها شامل ALC13, CaC12, ZnC12 است. بوراکس، ویژگی‌های شعله‌وری خاک ارّه را در حالت مخلوط شده با آن‌ها به صورت خشک(پودر) کاهش نمی‌دهد ولی هنگامی که به صورت محلول بکار رود از نظر ایجاد مقاومت به آتش بسیار مؤثر

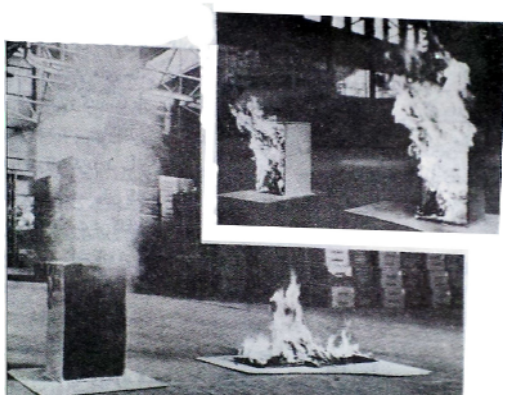
1- Pyrolysis
2- Catalyst
3- Dehydration

است(McCarthy، ۱۹٤۰). محلول‌های فسفات آمونیوم، کلرید آمونیوم و بوراکس از جمله مواد شیمیایی هستند که برای کندسوز کردن مواد سلولزی مانند کتان و کنف می‌توان استفاده کرد(Lussac 1821). مونوفسفات آمونیوم در اثر حرارت، اسید فسفریک تولید می‌کند و این ماده به تدریج باعث کاهش مقاومت و گسیختگی در چوب و تخته لایه می‌شود[۲٤ و۲۳]. در نتیجه طراحان باید در نظر داشته باشند که چوب‌های تیمار شده با مواد کندسوزکننده اسیدی نباید در معرض درجه حرارت‌های بالاتر از ۵۰ °C قرار گیرند[۲٦ و۲۵] .

اختری و پارسا پژوه(۱۳۸۲)، به بررسی کندسوز کردن مواد به کار رفته در سالن اجتماعات(چوب، پارچه و اسفنج) با استفاده از سولفات آمونیوم، مونوآمونیوم فسفات، دی‌آمونیوم فسفات و مخلوط مونوآمونیوم فسفات و دی‌آمونیوم فسفات(۵۰:۵۰)، به دو روش، غوطه‌وری و حمام سرد و گرم پرداختند. در این مطالعه، نمونه‌های چوبی(نوئل) اشباع شده با مخلوط مونوآمونیوم فسفات و دی‌آمونیوم فسفات به روش حمام گرم و سرد، خواص مقاومت به آتش بالاتری داشتند و پارچه‌های اشباع شده با مخلوط مونوآمونیم فسفات و دی‌آمونیوم فسفات و اسفنج‌های اشباع شده با سولفات آمونیوم دارای بیشترین زمان رسیدن به نقطه اشتعال بودند[۲۷].

هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر مواد آمونیوم بروماید، دی آمونیوم هیدروژن فسفات و بوراکس سدیم در به تأخیر انداختن زمان اشتعال و افزایش دوام و پایداری چوب تبریزی در برابر آتش می‌باشد(شکل ۸).

گونه مورد مطالعه(تبریزی)، یکی از فراوان‌ترین و پرکاربردترین گونه‌های چوبی جنگل‌های تجاری ایران محسوب می‌شود. بدین ترتیب، کندسوزکردن چوب دارای اهمیت است. در این تحقیق، سعی شده از روش‌هایی با کارایی بیشتر و هزینه کمتر استفاده شود. در بین روش‌های تحت فشار، روش بتل و از میان روش‌های اشباع سطحی، روش غوطه‌وری انتخاب شده است که نسبت به روش‌های قلم‌موکشی[1]، مه‌پاشی[2] و غرقابی کردن[3] بهتر است، چرا که تمام سطوح چوب می‌تواند با آزادی عمل بیشتری مایع جذب کنند.



شکل۸- مقداری پارچهٔ آغشته به پارافین برای آتش زدن این دو جعبه درون آن‌ها گذاشته شد. جعبه‌ای که با کندسوزکنندهٔ تیمار شده بود سالم باقی ماند و فقط پارچه و پارافین درون آن کاملاً سوخت. تأثیر آتش بر روی جعبهٔ دیگر را خود می‌توانید مشاهده کنید[۹].

۵- مواد و روش‌ها

چوب تبریزی از پنج پایه درخت از استان تهران با جهت برش شعاعی و مماسی از قسمت‌های درون چوب و برون چوب تهیه شده است. این چوب‌ها با پنج تکرار به ابعاد طبق استاندارد BS476 از نظر ظاهری کاملاً تمیز و بدون آلودگی و غیره هستند. چوب‌ها پس از انجام برش‌های اولیه، به تراورس تبدیل و به آزمایشگاه حفاظت منتقل گردیدند. سپس به مدّت ۳ ماه در محیط آزمایشگاه نگه‌داری شدند تا رطوبت آن‌ها به رطوبت تعادل محیط آزمایشگاه(۱۲٪) نزدیک شود. نمونه‌های مورد نیاز برای انجام آزمون مقاومت به آتش، مطابق با استاندارد ISO 11925 به ابعاد ۹۰۰×۱۰۰×۱۵۰ میلی‌متر تهیه گردیدند.

1- Brushing
2- Spraying
3- Deluging

تعداد نمونه‌ها با توجّه به طرح آماری، ۳٦ عدد درنظر گرفته شد. نمونه‌های مورد نیاز برای انجام آزمون‌های مکانیکی و فیزیکی، مطابق با طرح آماری و با احتساب نمونه‌های خام برای هر آزمایش، ۲۰ عدد و مطابق با استاندارد مربوط به هر آزمایش تهیه گردیدند[۲۹ و۲۸] .

برای اشباع نمونه‌ها به روش بتل، ابتدا نمونه‌های آزمونی بعد از شماره‌گذاری داخل سیلندر اشباع قرار گرفتند (شکل ۷). اشباع نمونه‌ها به روش بتل، طی مراحل ذیل به ترتیب اعمال گردید: خلأ مقدماتی به میزان ۰/۵- اتمسفر به مدّت ۱۵ دقیقه، غوطه‌وری با محلول حفاظتی با حفظ خلأ مقدماتی، فشار ثابت(اعمال فشار ۳ اتمسفر به مدّت ۲ ساعت)، زهکشی محلول حفاظتی و در نهایت خلأ نهایی به میزان ۰/۵ – اتمسفر به مدّت ۵ دقیقه و پس از اتمام مراحل فوق، نمونه‌ها از سیلندر خارج شده و به مدّت ٤ هفته در محیط آزمایشگاه نگه‌داری شدند تا به رطوبت تعادل با محیط(۱۲٪) برسند و ماده‌ی حفاظتی در چوب تثبیت گردد [۳۱ و۳۰].

قبل از انجام آزمون مقاومت به آتش، وزن اولیه‌ی نمونه‌ها با ترازویی با دقّت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. پس از استقرار هر نمونه در دستگاه، دهانهٔ نازل آتش با زاویه‌ی 45^{o} و به فاصلهٔ ۵ میلی‌متر از سطح و ۳۰ میلی‌متر از لبهٔ پایین نمونه‌ها قرار گرفت و آزمون مقاومت به آتش با فشار ثابت گاز خروجی به مدّت ۱۲۰ ثانیه انجام شد. پس از اتمام آزمون، وزن نمونه‌ها دوباره اندازه‌گیری و درصد کاهش وزن نمونه نسبت به وزن اولیه به عنوان میزان مقاومت به آتش در نظر گرفته شد(جدول ۲). علاوه بر این، زمان رسیدن به نقطه اشتعال، دوام شعله بعد از برداشتن نازل آتش، دوام گدازش بعد از برداشتن نازل آتش و درصد سطح کربونیزه شدن نیز اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار گرفت[۳۳ و۳۲].

٦- دستاورد

تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری ویژگی‌های مربوط به آتش، خواص فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های چوبی در قالب آزمایش فاکتوریل[1] دو متغیره با استفاده از آزمون دانکن[2] و به کمک تجزیه واریانس[3] مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

٦-۱- دوام شعله بعد از برداشتن نازل آتش

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از تأثیر نوع محلول بر دوام شعله بعد از برداشتن نازل آتش، نشان داد که نوع محلول بر دوام شعله بعد از برداشتن نازل آتش با سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن (شکل ۹) نشان داد که بیشترین دوام شعله بعد از برداشتن نازل آتش، متعلق به چوبی بود که از محلول سدیم بوراکس استفاده شده بود و کمترین دوام شعله بعد از برداشتن نازل آتش مربوط به زمانی بود که از محلول دی آمونیوم هیدروژن فسفات استفاده گردیده بود که اختلاف آماری معنی‌داری با چوبی که در آن از محلول آمونیوم بروماید استفاده شده بود، نداشت.

جدول۲- مقایسه میانگین داده‌های حاصل از نمونه‌های اولیه چوب‌های تبریزی

نوع چوب	جذب اولیه (درصد)	جذب ثانویه (درصد)	دوام شعله بعد از برداشتن نازل آتش (ثانیه)	دوام گدازش بعد از برداشتن نازل آتش (ثانیه)	سطح کربونیزه شدن (درصد)
تبریزی اولیه	۰^{c}	۰^{c}	۱۱۹^{a}	۱۰۸^{a}	٦۰/۰۰^{a}
تبریزی تیمار دیده	۹۱/٤۵^{a}	۱۲/۷۳^{b}	۳/۱^{a}	٤/٤^{a}	٤۱/۰۷^{a}

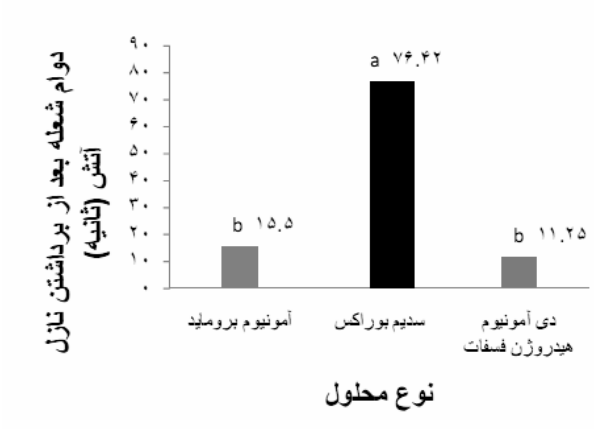
1- Factorial
2- Dancan's
3- Variance

جدول تجزیه و تحلیل داده‌ها، نشان داد کـه روش اشـباع کردن بر دوام شـعله بعـد از برداشـتن نـازل آتـش بـا سـطح احتمال ۹۵ درصد تأثیر معنی‌دار داشت.

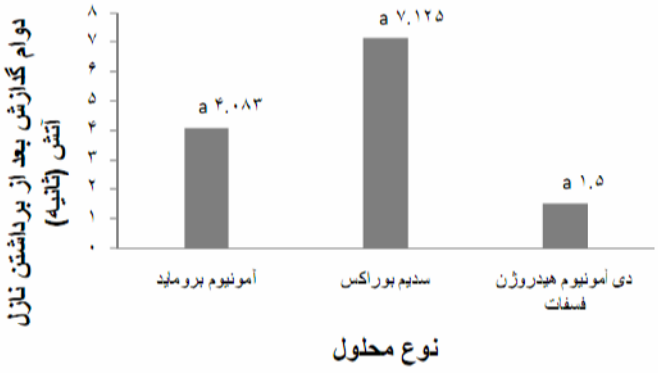
مقایسه میـانگین داده‌هـای حاصـل از تـأثیر متقابـل نـوع چوب و نوع محلول که در(نمودار ۱) آورده شده است، نشان داد که بیشترین دوام شعله بعـد از برداشـتن نـازل در چـوب تبریزی متعلق به محلول آمونیوم بروماید بود و زمـانی کـه از محلول دی آمونیوم هیدروژن فسفات اسـتفاده گردیـده بـود کمترین دوام شعله را داشت.

٦-٢- دوام گدازش بعد از برداشتن نازل آتش

تجزیه تحلیل داده‌های حاصل از تأثیر نوع محلـول بـر دوام گدازش بعد از برداشتن نازل آتش نشان داد کـه نـوع محلول بر دوام گدازش بعد از برداشتن نازل آتش با سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن(نمودار ۲) نشان داد که بیـشترین دوام شـعله بعد از برداشتن نـازل آتـش متعلـق بـه چـوبی بـود کـه از محلول سدیم بوراکس استفاده شده بود که اختلاف آمـاری معنی‌داری با چـوب حاصـل از محلـول آمونیـوم بروماید نداشت.



نمودار۱- تأثیر نوع محلول بر دوام شعله بعد از برداشتن نازل آتش



نمودار۲- تأثیر نوع محلول بر دوام گدازش بعد از برداشتن نازل آتش

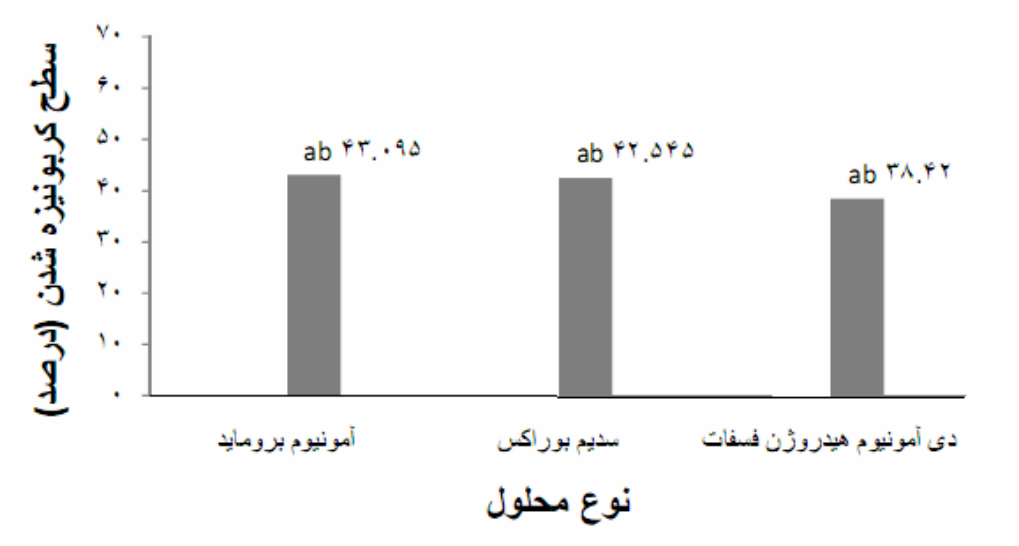
مقایسه میانگین داده‌های حاصل از تأثیر متقابل نوع چوب و نوع محلول که در(نمودار۲) آورده شده است، نشان داد که بیشترین دوام گدازش بعد از برداشتن نازل در چوب تبریزی متعلق به دی آمونیوم هیدروژن فسفات بود.

٦-٣- سطح کربونیزه شدن

تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از تأثیر نوع محلول بر سطح کربونیزه شدن نشان داد که نوع محلول بر دوام سطح کربونیزه شدن در سطح احتمال ۹۵ درصد معنی‌دار نبود.

مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون دانکن (نمودار ۳) نشان داد که بیشترین سطح کربونیزه شدن متعلق به چوبی بود که از محلول آمونیوم بروماید استفاده شده بود که اختلاف آماری معنی‌داری با چوب حاصل از سایر تیمارها نداشت.

جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل نوع چوب و نوع محلول تأثیر معنی‌دار بر سطح کربونیزه شدن نداشت. مقایسه میانگین داده‌های حاصل از تأثیر متقابل نوع چوب و نوع محلول که در(نمودار ۳) آورده شده است، نشان داد که بیشترین سطح کربونیزه شدن در چوب تبریزی متعلق به محلول دی آمونیوم هیدروژن فسفات بود.



نمودار ۳- تأثیر نوع محلول بر سطح کربونیزه بعد از برداشتن نازل آتش

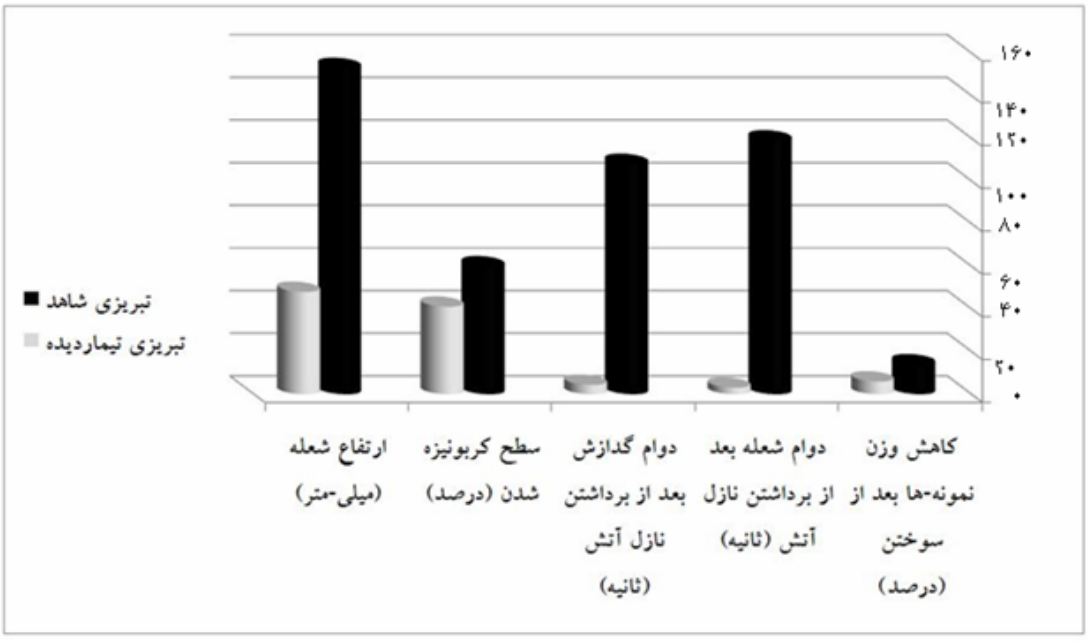
۷- نتیجه گیری

با توجّه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت کـه بهتـرین ماده کندسوزکننده از میان چند ماده مـورد آزمـایش، محلـول آمونیوم بروماید می‌باشد، لذا در این تحقیـق بهبـود و توسـعه پایدار چوب تبریزی در برابر آتش به صـورت خلاصـه بیـان می‌گردد:

محلول آمونیوم بروماید بـا غلظـت ۹٪ و بـه روش بتـل، بهترین نـوع محلـول بـرای کندسـوز کـردن چـوب تبریـزی می‌باشد و استفاده از آن منجر بـه ۹۵ درصـد کـاهش از نظـر دوام گدازش، ٦٨/٤٥ درصد کاهش از نظـر سـطح کربـونیزه شدن،٦٩ درصد کاهش از نظر دوام شعله و در نهایـت حفـظ کامل سطح نمونـه و جلـوگیری از فروپاشـی سـطح و بـروز کاهش سطح در نمونه اشباع شده نسبت به نمونه شاهد شـده است(نمودار ٤).

در بررسی خواص مکانیکی و فیزیکی نمونه‌های چوبی اشباع شده، نتایج نشان می‌دهد که نمونه‌های چوبی اشـباع شده با دی‌آمونیوم فسفات دارای بیشترین مقاومت سـختی و نمونه‌های تیمار شده با سولفات آمونیـوم و مونوآمونیـوم فـسفات دارای کمتـرین درصـد هـم‌کـشیدگی حجمـی می‌باشند.

تحقیقی که توسط آقایان حجازی و پارسـاپژوه(۱۳۷۸) تحت عنوان تأثیر کندسـوزکننده‌هـا(مخلـوط مونوآمونیـوم فسفات و بوراکس، مینالیـت و پیـرزوت) بـر روی چـوب افراپلت انجام شد، نقش این مواد(در سه غلظت ۵، ۸ و ۱۲ درصد) را از جنبه افزایش مقاومـت چـوب افـرا در برابـر آتش مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نـشان داد کـه بهتـرین ماده جهت کندسوز کردن چوب افرا، مخلوط مونوآمونیـوم فسفات و بوراکس با غلظت ۱۲٪ می‌باشد.



نمودار ٤- نتایج به دست آمده از ماده کندسوزکننده از میان چند ماده مورد آزمایش

همچنین در تحقیقی که توسط اختری و پارساپژوه(۱۳۸۲)، با عنوان بررسی کندسوز کردن مواد بکار رفته در سالن اجتماعات(چوب، پارچه و اسفنج) با استفاده از سولفات آمونیوم، مونوآمونیوم فسفات، دی‌آمونیوم فسفات و مخلوط مونوآمونیوم فسفات و دی‌آمونیوم فسفات(۵۰:۵۰) به دو روش، غوطه‌وری و حمام گرم و سرد انجام دادند. نتایج نشان داد که نمونه‌های چوبی(نوئل) اشباع شده با مخلوط آمونیوم فسفات و دی‌آمونیوم فسفات به روش حمام گرم و سرد، خواص مقاومت به آتش بالاتری داشتند و پارچه‌های اشباع شده با مخلوط مونوآمونیوم فسفات و دی‌آمونیوم فسفات و اسفنج‌های اشباع شده با سولفات آمونیوم دارای بیشترین زمان رسیدن به نقطه اشتعال را داشتند.

با توجّه به مطالب بیان شده می‌توان نتایج کلی زیر را ارائه نمود:

۱. بهترین ماده جهت کندسوز کردن چوب تبریزی آمونیوم بروماید می‌باشد چرا که در کلیه اندازه‌گیری‌ها، مشاهده می‌شود که این ماده تیمار برتر بوده است.

۲. در کلیه تیمارها، با توجّه به نتایج حاصله با قاطعیت می‌توان گفت که اشباع چوب‌آلات با مواد کندسوزکننده سبب شد که آن‌ها در مقایسه با نمونه‌های شاهد، مقاومت بیشتری در مقابل آتش از خود نشان دهند.

۳. در بیشتر تیمارها مشاهده می‌شود که مقاومت مکانیکی نمونه‌های آزمونی اشباع شده در مقایسه با نمونه‌های شاهد افزایش یافته است که دلیل این امر را می‌توان به تأثیر اضافه شدن مواد کندسوزکننده در هنگام اشباع کردن به روش بتل نسبت داد.

٤. در مورد تمام ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، مشاهده می‌شود که نمونه‌های اشباع شده به روش بتل خواص خوبی را از خود نشان داده‌اند که دلیل این امر را می‌توان به نفوذ تحت فشار مواد حفاظتی در روش بتل دانست که میزان جذب و عمق نفوذ مواد حفاظتی در این روش بیشتر است.

۵. در بیشتر ویژگی‌های مورد مطالعه مشاهده شد که تیمار با آمونیوم بروماید نسبت به نمونه‌های اشباع شده با سایر محلول‌ها تیمار مناسب‌تری است.

٦. توصیه می‌شود در هنگام اشباع به روش بتل از فضای کامل ظرف برای پر کردن چوب‌های نمونه استفاده نشود و اجاز داده شود ۱۰ درصد فضای ظرف خالی از نمونه‌ها باشد تا فرصت ایجاد خلأ و گردش جریان محلول برا چوب ایجاد گردد.

۸- منابع

۱. اختری، م. پارسا پژوه، د. عارف خانی، م. بررسی کندسوز کردن مواد به کار رفته در سالن اجتماعات(چوب، پارچه و اسفنج) با استفاده از مخلوط مونو آمونیوم فسفات و دی‌آمونیوم فسفات، مخلوط مونو آمونیوم فسفات و بوراکس و سولفات آمونیوم. مجلّه علوم کشاورزی. شماره۲. سال دوازدهم. صفحه٤٤٩. ۱۳۸۹.

۲. اختری، م. پارسا پژوه، د. هومن حمصی، ا. عارف خانی، م. بررسی کندسوز کردن چوب راش به روش لوری و غوطه‌وری. مجلّه علمی- پژوهشی علوم کشاورزی. شماره ۲. سال دوازدهم. صفحه ٤٤٩. ۱۳۸۵.

۳. استاندارد ملّی ایران آیین کار ویژگی‌های چوب‌های اشباع شده با مواد دیر سوزکننده و پوشش‌های دیر سوزکننده بر روی مصالح ساختمانی، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، شماره استاندارد ایران ٦٤۳۱، چاپ اول. ۱۳۸۰.

٤. استاندارد ملّی ایران چوب و فرآورده‌های آن، (۱۳٤۹)، ویژگی‌های مواد اشباع‌کننده، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، شماره استاندارد ۱۲۷۳، چاپ دوم.

۵. استاندارد ملّی ایران، چوب و فرآورده‌های چوبی- مواد کندسوزکننده- روش هوازدگی تسریع شدهٔ چوب‌های تیمار شده با مواد کندسوزکننده برای آزمون آتش‌پذیری، شماره استاندارد ملّی ایران ۱۷۲۳۱، چاپ اول. اسفند ۱۳۹۲

٦. استاندارد ملّی ایران، واکنش در برابر آتش برای مصالح و فرآورده‌های ساختمانی روش‌های آزمون- قسمت چهارم- قابلیت افروزش فرآورده‌های ساختمانی در برخورد مستقیم شعله، شماره استاندارد ایران ٤-٧٢٧١. ١٣٨٤.

٧. پارسا پژوه، د. حجازی، س. کریمی، ع. دوست حسینی، ک. اختری، م. بررسی اثر کندسوزه‌کننده‌ها(مخلوط مونو آمونیوم فسفات و بوراکس، مینالیت و پیروزوت) بر روی چوب افرا(Acerinsigne Boiss). مجلّه منابع طبیعی ایران. جلد ٥٦. شماره ٣. صفحه٢٥٧. ١٣٨٢.

٨. محرابی، ا. اصلاح اسیدی کربنات کلسیم رسوبی (PCC) و تأثیر آن بر ویژگی‌های گاغذ. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ١٢٨ صفحه. ١٣٩١.

٩. ویلکینسون، ژ.ک. ترجمه: پارسا پژوه، د. فائزی پور، م. تقی یاره، ح. ر. حفاظت صنعتی چوب. مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران. چاپ اول. بهار ١٣٧٥.

10. ICC Evaluation tervice, INC. ACCE ptance criteria for Fir-Retardant- Treated wood AC66, Previously approved October 2005, January 2002, April 1997 September 1999.

11. Jerrold E. Winandy, Robert J. Ross. "And Susan L. Levan. Fire-Retardabt-Treated wood: Research at the forest products laboratory", Proceedings of the 1991 international timber engineering conference : 1991 September 2-5: London. VOL. 4. 4.69-4.74. London: TRADA. 1991.

12. Novis Smith, "Carbonaceous fibers for fire- Retardant insulation", 412 s. Perth St, Philadeiphia, PA19147. tappi Journal. April 1993.

13. Jerrold E. Winandy. Robert J. Ross and Susan L. Lwvan. "Fire-Retardant –Treated wood: Research at the forest products laboratory", London. TRADA 1991: 4.74. Vol.4. September 1991.

14. Standard practice for accelerated weathering of fire-retardant – treated wood for fire testing, Designation: D2898-08, March 2009.

15. ZHAO Guangjie, LUO Wensheng, furuno T. REN Qiang. MA Erni. Standard test method for hygroscopic properties of fire-retardant wood and wood – based products, Designation: D 3201-08a.

16. Pyrolytic characteristics of burning residue of fire- retardant wood, 2(2):231-236, Doi. 10.1007 11461-007-0038-8. 2007.

17. Acceptance criteria for fire-retardant-treated wood, AC66. ES ICC Evaluation service(800)423-658. 2012.

18. Standard test method for hygroscopic properties of fire-retardant wood and wood based products, Designation: D 3201-94 Reapproved 2003.

19. Robert H. White and Mar K A. Dietenberger. "Fire safety", 1999.

20. DEF(AUST)1000C ADF Packaging, Standard part 15: packaging specifications and classification systems, published by: Army Standardisation, Sponsored by: DGENG(A), Army engineering agency and the ADF packaging committee, July 2000.

21. Standard test methods for small clear specimens of timber, Designation: D 143-94 This standard has been approved for use by agencies of the department of Defe Note. ASTM Intemational. 100 Barr harbor Drive. PO Box C700. West Conshocken, PA 19428-2959. United states. Reapproved 2000.

22. Packaging of materiel preservation, FM 38-700,MCO P4030. 31D, NAVSUP PUB 502, AFPAM(I) 24-237, DLAI 4145.14 Washington DC, 1 Dwcember 1999.

23. Wood reference handbook, Underwriters, laboratories of Canada listed treated lumber, Figure 9.11. Panel markings for fire – retardant treatedant lumber and plywood.

24. ISO 5660, Fire tests, Reaction to Fire, Rate of heat release from

building products (Cone Calorimeter). 1990.
25. EN ISO 1182: Reaction to fire tests for building products – Non-combustibility test.2002.
26. ISO 1182: Fire tests – building materials – Non-combustibilitiy test.1990.
27. NFPA 703 Standard for fire Retardant impregnated wood and fire retardant coatings for builiding materials .1992.
28. NFPA 251,Standard methods of tests of fire endurance of building cunstruction and materials.1995
29. NFPA 255,Standrad method of test surface burning characteristics of builiding materials.1990.
30. ASTM Standrad test method for accelerated weathering of fire - retardant treated wood for fire testing. 1996.
31. ASTM ,Standrad test method for hygroscopic properties of fire-retardant wood and wood - base products, 1996.
32. ISO 5658, Surface spread of flame , 1997.
33. BS 476 -Part 7 , Fire tests on builiding materials and surface Spread of flame oof products , (Revised in 1990). 1987.

آدرس نویسنده

تهران- میدان صنعت- خیابان هرمزان- خیابان پیروزان جنوبی – نبش کوچه پنجم- ساختمان اسراء- کمیته استاندارد.