مجموعه مقالات
چهارمین همایش ملی کاربرد فناوری هسته‌ای در علوم کشاورزی و منابع طبیعی
(۲۹-۳۰ اردیبهشت، ۱۳۹٤، پژوهشکده کشاورزی هسته ای)
The 4th National Congress on Nuclear Technology Application in Agricultural & Natural Resource Sciences (19-20 May, 2015, Nuclear Agriculture Research School)

تاثیر تابش اشعه گاما و ایکس بر چوب و چندسازه‌های چوبی و کاربرد آنها

حمیده عبدل‌زاده

دکتری علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، نویسنده مسئول:h_abdolzadeh@yahoo.com

چکیده: مقاله حاضر، به مرور بخشی از مطالعات انجام شده در خصوص کاربردهای تابش اشعه گاما و ایکس در حوزه علوم و فناوری چوب و فرآورده‌های چوبی می‌پردازد. معمولاً از اشعه گاما و ایکس برای استریل کردن و از بین بردن آفات چوب در مصنوعات قدیمی، آثار باستانی و سازه‌ها، همچنین در فرایند ساخت چوب پلیمرها، تحلیل غیر مخرب دانسیته ، مقدار رطوبت وتغییر در چسبندگی چوب استفاده می‌شود. از آنجاکه تابش اشعه گاما و ایکس باعث تغییراتی در خواص مکانیکی و شیمیایی ماده چوبی می‌شود، درنتیجه تعیین دوز تابش در این قبیل کاربردها از اهمیت زیادی برخوردار است.

واژگان کلیدی: اشعه گاما، اشعه ایکس، عوامل مخرب چوب، چوب پلیمر

The Effect of Gamma and X- ray Radiation on Wood and Wood-based Composites and Their applications

Hamideh Abdolzadeh

PhD, Wood science & Technology Department, Natural Resources Faculty, University of Tehran, Karaj, Iran

h_abdolzadeh@yahoo.com

Abstract: Some applications of gamma-ray and X-ray radiation on the area of wood and wood products science and technology are reviewed in this paper. Gamma and X-ray usually are used for sterilization and destroying of defects in the wood as an ancient, wooden artefact and construction materials. Moreover, it can be found some applications in wood-polymers fabricating process, non-destructive analysis of density and moisture content and making changes in wood adhesion. Since, the Gamma ray and X- ray irradiations cause changes in mechanical and chemical properties of wood materials, therefore determination of the radiation dose is of significant importance.

Keywords: Gamma Ray, X- Ray, Wood Defects, Wood-Polymer

مقدمه

چوب یکی از قدیمی‌ترین مواد مورد استفاده در سازه‌های مهندسی است. ماده‌ای که برای ساختمان‌ها، پل‌ها، برج‌ها و برای سازه‌های دیگری مورد استفاده قرار می‌گیرد. شهرت این ماده به این دلیل است که هزاران سال است مورد استفاده قرار می-گیرد. چوب ماده طبیعی آنیزوتروپ و غیر یکنواختی است. علاوه بر آن چوب در کنار خواص منحصر به فرد خود که نسبت

به سایر مواد و مصالح ساختمانی همچون آهن، فولاد، آلمینیوم و پلاستیک دارد، دارای معایبی هم هست که استفاده از آن را با محدودیت‌هایی مواجه کرده است. هوازدگی، پوسیدگی قارچی، صدمه حشرات و عدم ثبات ابعادی را می‌توان از جمله معایب چوب دانست. رشد شتابان جمعیت جهان و به تبع آن افزایش تقاضا برای مصرف چوب از یکسو، و محدودیت منابع جنگلی از سوی دیگر، لزوم استفاده بهینه از این ماده پربها را بیشتر کرده است [۱]. جهت بهینه سازی این ماده‌ی ارزشمند انواع روش‌های حفاظت و اصلاح چوب در سطح جهان گسترش یافته است که اهمیت آن در کشورهایی همچون کشور ما که با کمبود شدید چوب مواجه هستیم، دوچندان می‌شود. سالانه ده‌ها ماده شیمیایی برای حفاظت چوب، تولید و به ثبت می‌رسند. اما مشکل بزرگ پیش روی محققان و صاحبان کارخانه‌های اشباع چوب در جهان مشکلات زیست محیطی استفاده از مواد حفاظتی بوده است. به طوری که طی بررسی‌های فراوان مشخص شده است که انواعی از مواد حفاظتی حاوی مواد شیمیایی نظیر آرسنیک، روی، مس، کروم و یا موادی نظیر کرئوزوت که دارای پایه روغنی هستند، می‌توانند جهت سلامت محیط زیست مساله ساز باشند. وجود چنین مشکلاتی در استفاده از مواد حفاظتی سنتی چوب، باعث پیدایش راهکارهای نوینی در این زمینه شد. در این میان استفاده از انرژی‌های نو نظیر انرژی هسته‌ای رشد چشمگیری یافته است. این تحقیق به بررسی کاربردی این روش در صنایع چوب به عنوان روشی سریع و ایمن و با مخاطرات کمتر زیستی پرداخته و به بررسی معایب و محاسن این روش می‌پردازد.

۱- تغییرات خصوصیات چوب در اثر اشعه گاما

چوب به عنوان ماده طبیعی توسط حشرات، قارچ‌ها و باکتری‌ها تجزیه می‌شود. اصولا تجزیه و تخریب مصنوعات چوب و یا اجزای چوبی قدیمی توسط ارگانیسم‌های اجتناب ناپذیر است. چوب‌های قدیمی و آثار باستانی چوبی، فوق العاده با ارزشند و بازسازی مناسب آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

گام اول بازسازی، تشخیص و تعریف آفات و پوسیدگی است. بنابراین توجه به چوب‌خوارهای آثار باستانی و مصنوعات چوبی قدیمی ضروری است.

در کنار مقابله با چوب‌خوارها، استریل کردن چوب به منظور مقاوم‌سازی آن و محصولات چوبی بر ضد ارگانیسم‌های تخریب کننده چوب به کار گرفته می‌شود. برای هر دوی این اهداف شامل آزمون‌های بازسازی و نیز پایدارسازی چوب، اشعه گاما به عنوان روش ضد عفونی مناسب مورد توجه قرار گرفته است.

۲- استفاده از اشعه گاما برای استریل کردن

اشعه گاما به دلیل داشتن انرژی اشعه الکترومگنتیک یونیزه، به راحتی در سراسر اشیای چوبی نفوذ می‌کند. این مسئله در رابطه با چوب‌خوارها آثار باستانی بسیار موثر است [۲-۴]. اما برای استریل کردن چوب مناسب نیست [۵-۸]. برخلاف اشعه الفا و بتا که فقط در لایه‌های نازک نفوذ می‌کند، اشعه گاما به طور کامل در اجزای چوبی نفوذ می‌کند [۹]. اشعه گاما بسیار پر انرژی است و ساختار مولکول‌ها را تغییر داده و سلول‌های زنده را تبدیل به مواد غیر قابل استفاده می‌کند و یا از بین می‌برد.

۲-۱- دوز موثر اشعه گاما برای استریل کردن چوب

از نظر Kunstadt (۱۹۹۸) حشرات در دامنه دوزی بین ۰/۷ kGy تا ۱/۳ نمی‌توانند مقاومت کنند. در حالی‌که برای حذف قارچ‌ها به طور معنی داری به دوزهای بالاتر نیاز است. Unger وهمکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که دوز بین ۰/۲۵ kGy تا ۳ برای از بین بردن آفات چوبی مناسب است که بسته به گونه چوبی و مراحل توسعه آن متغییر است [۴]. برای از بین بردن قارچ-های مخرب چوب معمولا نیاز به دوزهای بالاتری است. بسته به نوع گونه قارچی دوزی بین ۲ kGy تا ۱۸ مورد استفاده قرار می‌گیرد. میسیلیوم قارچ Sevpula lacrymans را می‌تواند با دوز ۲-۳ kGy کشت. ولی در صورتی که دما تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، این دوز تا ۰/۵ kGy کاهش می‌یابد [۱۰]. Unger و همکاران (۲۰۰۱) به بررسی دامنه دوزهای مورد نیاز برای حذف باکتری‌ها پرداختند که دامنه آن را ۳-۱۵ kGy تعیین کردند. Lester همکاران (۲۰۰۰) کاج رادیاتا (*Pinus radiate*) از سوزنی‌برگان نیوزلند را بر ضد لارو سوسک استریل کرده و به این نتیجه رسیدند که دوزهایی بین ۲/۵ kGy تا ۳/۷ برای کنترل تخریب چوب توسط حشرات کافی است و مقدار رطوبت تعادل چوب در طی تشعشع نقش مهمی در کاهش دوز تعیین شده دارد [۱۱]. Magaudda و همکاران (۲۰۰۱) ۱۰ kGy را به عنوان حداقل دوز مناسب برای استریل کردن چوب بر ضد حشرات تخریب کننده کاغذ واتمن پیشنهاد کردند [۱۲]. Freitag و Morrell (۱۹۹۸) گزارش کردند دوز حدود ۱۵ kGy اشعه گاما، برای مبارزه با آفات چوب (آفات متداول) کافی است. آنها همچنین اعلام کردند این دوزها برای حذف میکروارگانیسم‌های چوب‌خوار در چوب بسیار بالاتر از دوزهای لازم برای استریل کردن سایر مواد است [۱۳]. Csupor و همکاران (۲۰۰۰) چوب پوسیده شده توسط قارچ چوب‌خوار را تحت تابشی از ۲ kGy تا ۱۴۰۰ قرار دادند و نتیجه گرفتند که ۱۲ kGy برای استریل کردن ایمن چوب بر علیه قارچ‌ها کافی است [۱۴]. استاندارد اروپایی EN 113 (CEN 1996) دوز مورد نظر برای استریلیزه کردن چوب در روش‌های آزمون آزمایشگاهی را بین ۲۵ kGy تا ۵۰ اعلام کرده است.

زمان تیمار به انرژی منبع تابش بستگی دارد ودر صورتی‌که چوب برای مدت زمان طولانی‌تری تحت تابش منبع ضعیف‌تر قرار گیرد و یا برای مدت کوتاهی تحت تابش منبع قوی‌تر قرار گیرد [۴, ۱۵]، تفاوت معنی‌داری در میزان استریل شدن به‌دست نیامده است. مسئله مهم در این رابطه دوز جذب شده است (مقدار انرژی جذب شده در هر واحد جرمی) که توسط ماده تحت تابش جذب می‌شود. در مقابل برخی از محققان گزارش کرده‌اند که نسبت دوز و مجموع دوز تابش گاما هر دو اثرات مختلفی بر مقاومت خمشی برخی از اجزای شیمیایی چوب‌های آزمایش شده دارند. Borysiak (۲۰۱۰) با بررسی کریستالیته پلی‌پروپیلن در حضور چوبی که تحت تابش اشعه گاما قرار گرفته‌است، نتیجه گرفت که تابش گاما به چوب ممکن است نقش مثبتی در تغییر ساختار میکروسکوپی ماتریس مجاور چوب بازی کند. همچنین اتم‌های سطح نشان دادند که ویژگی‌های شیمیایی لیگنوسلولزمی‌تواند بر کریستالیته پلی‌پروپیلن تاثیر بگذارد [۱۶].

۳- اشعه گاما در ساخت چوب پلیمرها

همراه با پیشرفت صنعت پلیمرهای مصنوعی، پلیمرها به صورت گسترده‌ای برای اصلاح چوب مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۷]. به طوری که چوب به وسیله‌ی مونومرها اشباع شده، سپس مونومر بکار رفته پلیمر شده و منجر به تولید فراورده مرکب

چوب-پلیمر می‌شود . چند سازه چوب-پلیمر، چوب اصلاح شده است که در آن ابتدا چوب با مونومری تیمار (اشباع) می‌شود، سپس طی فرایندی مونومر تبدیل به پلیمر می‌گردد. در نتیجه فراورده‌ی حاصل چوبی خواهد بود که حفره‌های سلولی و بین سلولی و یا روزنه‌های ریز دیواره‌ی سلولی آن توسط پلیمر اشغال شده است. چوب-پلیمر در مقایسه با چوب تیمار نشده دارای خواص فیزیکی و مکانیکی بهبود یافته‌ای می‌باشد که از این رو کاربردهای ویژه‌ای درصنایع پیدا کرده است [۱۸-۲۰]. مونومرهای مختلفی در ساخت این فراورده استفاده می‌شوند، از جمله مونومرهای وینلی مانند استایرن و متیل متا اکریلات. این مونومرها فقط حفره سلول را پر می‌کنند و دیواره‌ی سلول را واکشیده نمی‌کنند و یا به مقدار خیلی کم واکشیده می‌کنند. به طوری که ممکن است از محلول‌هایی برای واکشیده کردن چوب برای کمک به نفوذ مونومر به داخل غشاء سلولی استفاده شود که سبب تثبیت نسبتاً زیاد ابعاد چوب می‌شود. در ساخت چوب پلیمرهایی با مونومر متیل متا اکریلات برای پلیمریزاسیون مونومر در چوب از اشعه گاما استفاده می‌شود [۲۱]. Hadi و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی چوب Jobon اشباع شده با متیل متا اکریلات پرداختند و نتیجه گرفتند که ساخت این چوب پلیمر به‌طور معنی‌داری خواص مکانیکی و فیزیکی را افزایش می‌دهد. مدت زمان و دوزهای تابش و اثر متقابل این عوامل تاثی معنی‌داری بر خواص مذکور ندارد. مدت زمان تابش ۱۰ دقیقه و دوز تابش ۱۰ kGy مناسب تخیص داده شدند [۲۲].

۳-۱- پلیمریزاسیون مونومرها در چوب

پس از اینکه چوب‌های اشباع شده از مونومر از سیلندر خارج شدند، باید تحت شرایطی قرار گیرند تا طی آن مونومر داخل چوب تبدیل به پلیمر شود. روش‌های پرتودهی (با الکترون‌ها، پرتوهای گاما و اشعه x) و نیز استفاده از کاتالیزورهای شیمیایی و حرارت جهت انجام پلیمریزاسیون آغاز می‌شود. مراحل مشترک میان دو روش پیش گفته به شرح زیر می‌باشد [۲۳]:

کاتالیزور حساس به حرارت $\xrightarrow{\text{حرارت}}$ R_0 (رادیکال آزاد)

M^* (یون‌ها یا مولکول‌های تحریک شده) $\rightarrow R_0$ (رادیکال آزاد)

۱) مرحله «شروع» $R_0 + M$ (مونومر) $\rightarrow R\text{-----}M_0$

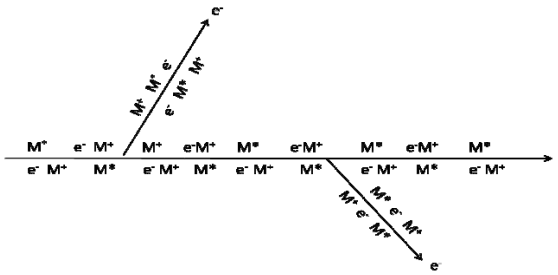
۲) مرحله «ادامه» $R\text{---}(M)_n\text{ --- }M_0 + M \rightarrow R\text{---}(M)_{n+1}\text{---}M_0$

۳) مرحله پایان $R\text{---}(M)_n\text{ --- }M_0 + R\text{ --- }(M)_n\text{ ---}M_0 \rightarrow R\text{---}(M)_n\text{---}M\text{---}M\text{---}(M)_n\text{---}R$

روش پرتودهی

از میان منابع مختلفی که پرتوهای پر انرژی تولید می‌کنند، پرتو گاما برای پلیمریزاسیون بیشتر استفاده می‌شود. برای جلوگیری از تبخیر مونومر، نمونه‌ها اشباع شده بلافاصله در ورق‌های آلومینیومی محکم پیچیده می‌شوند. آنگاه نمونه‌ها در داخل سلول تابش گاما برای پرتودهی جاسازی می‌شوند. سلول فوق با استفاده از چشمه رادیواکتیو کبالت ۶۰، پرتو گاما تولید و به نمونه‌ها می‌تاباند. این عمل در دمای محیط انجام می‌گردد. هنگامی که پرتو گاما با میانگین انرژی ۱/۲۵ میلیون الکترون ولت در چوب

نفوذ می‌کند و از آن می‌گذرد، در مسیر خود به دلیل انرژی بالا، مولکول‌های زیادی را یونیزه و تحریک می‌نماید (شکل ۱). در نتیجه این فرایند، رادیکال‌های آزاد ایجاد می‌گردد که عمل پلیمریزاسیون را مطابق مراحل سه‌گانه‌ای که قبلاً شرح داده شد آغاز می‌نماید [۲۴].



شکل ۱- مولکول‌های یونیزه و تحریک شده در مسیر عبور پرتو گاما

٤- کاربردهای دیگر اشعه گاما در چوب

یکی دیگر از کاربرهای جالب اشعه گاما و ایکس، تحلیل غیر مخرب دانسیته و مقدار رطوبت و توزیع آنها در چوب ماسیو و در فراورده‌های چوبی حاصل از آن یعنی پانل‌های چوبی است. Karsulovič و همکاران (۲۰۰۲) در مطالعاتشان از تابش اشعه گاما برای تشخیص غیر مخرب پوسیدگی و دیگر آفات گردبینه‌ها استفاده کرده‌اند [۲۵]. در این روش کیفیت چوب تا حدی بیش‌تر از روش‌های مکانیکی پیش‌بینی شود. زیرا انرژی بسیار بالای اشعه گاما به‌طور کامل در سراسر مقطع عرضی چوب نفوذ می‌کند. در نتیجه اشعه گاما در اصلاح شیمیایی چوب می‌تواند به عنوان کاتالیزور برای پلیمریزاسیون در چوب اشباع شده با مونومرها در تولید چندسازه‌های چوب پلاستیک-WPC مورد استفاده قرار گیرد [۲۶-۲۹]. Struszczyk و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که ۳ روش برای تابش گاما امکان‌پذیر است [۳۰].

الف) پیش‌تیمار با اصلاح شیمیایی سلولز

ب) به عنوان کاتالیزور آغازگر پلیمریزاسیون مونومرها در زنجیره سلولز

ج) به عنوان پیش‌تیمار در فرایند شیمیایی سلولز به منظور بهبود ثبات ابعادی آن

Klimentov و Bysotskaia (۱۹۷۹)، Chawla (۱۹۸۵) و Šimkovic و همکاران (۱۹۹۱) گزارش کرده‌اند که تابش گاما به‌عنوان پیش‌تیمار برای نرم کردن چوب قبل از فرایند تیمار شیمیایی می‌تواند به طور معنی‌داری مواد شیمیایی را کاهش دهد [۲۸, ۳۱, ۳۲]. Oldham و همکاران (۱۹۹۰) تکنیک رادیوگرافی گاما را برای تحلیل تخریب چوب با آتش مورد استفاده قرار دادند. آنها تعیین کردند که مقاوم به آتش بودن مناسب با اندازه‌گیری تفاوت انرژی گاما جذب شده در چوب تیمار شده توسط این ضد آتش‌ها قبل و بعد از سوختن چوب به دست می‌آید [۳۳]. Bogner و همکاران (۱۹۹۷) از فعال کننده‌های

سطحی مختلف برای به‌دست آوردن چسبندگی بیشتر چسب به چوب استفاده کردند [۳۴]. نتایج تحقیقات نشان داد پس از تیمار چوب با اشعه گاما در دامنه دوز بین kGy ۰ تا ۱۰۰ چسبندگی چسب به چوب بهبود یافته و بنابراین مقاومت خط چسب افزایش می‌یابد. اولین بررسی در رابطه با تاثیر اشعه گاما در مواد لیگنوسلولزی، علاوه بر افزایش نفوذ قندهای غیرقابل حل با پلیمیزاسیون بالا مانند سلولز توسط Klimentov و Bysotskaia (۱۹۷۹) و Klimentov و همکاران (۱۹۸۱) انجام شده است [۳۱, ۳۵]. Mubarak و همکاران(۲۰۰۶) با بررسی تاثیر نفوذ تابش گاما و UV، سطح تخته‌لایه‌ها را با پخت نوری با اکریلات اپوکسی اصلاح کردند. در این تحقیق برخی از خصوصیات رئولوژی سطح تخته لایه نظیر سختی پاندولی، مقاومت چسبندگی و مقاومت به سایش در آزمونه‌هایی با پخت توسط UV مورد مطالعه قرار گرفت [۳۶].

۵- اثر تابش اشعه گاما در چوب

استریل کردن با اشعه گاما بسیار راحت، سریع و موثر است. اما در دوزهای بالاتر از دوز مربوط به چوب‌خوارها، تابش گاما نه تنها ساختار مولکولی آفات چوبی را تغییر می‌دهد، بلکه سلول‌های دیواره چوب را نیز تغییر می‌دهد. گرچه Severiano و همکاران ۲۰۱۰ گزارش کرده اند که تابش گاما بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی، حرارتی و مکانیکی در دامنه دوزهای kGy ۲۵ و ۱۰۰ هیچ تاثیری ندارد [۶]، تحقیقات دیگری تاثیر معنی‌داری از تابش گاما را بر خواص چوب گزارش کرده‌اند. Severiano و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی اثر تابش در خواص حرارتی گونه‌های چوبی مورد استفاده در آثار باستانی هنری و فرهنگی پرداختند. نتایج نشان داد که تابش در دامنه دوزهای مورد مطالعه تاثیر بسیار زیادی در خواص مورد مطالعه نداشته است. نتایج این تحقیق، چندین بار قرار گرفتن این آثار در معرض تابش را مجاز می‌شمارد [۳۷]. Divos و Bejo (۲۰۰۶) به بررسی اثر اشعه گاما در MOE گونه‌های مختلف چوبی پرداختند. ایشان نتیجه گرفتند که در تمام گونه‌ها، با افزایش دوز تابش مقدار MOE به طور ثابتی کاهش می‌یابد. نتایج آزمون‌ها نشان داد که MOE گونه‌هایی با دانسیته کمتر بیشتر از سایر گونه‌ها تحت تابش کاهش می‌یابد. نتایج این تحقیق نشان داد که دوزهای نابود کننده قارچها تاثیر معنی داری در کاهش MOE ندارند [۳۸]. Rimdusit و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی تاثیر تابش گاما با و یا بدون سازگارکننده‌ها در خواص مکانیکی چندسازه‌های آرد چوب-پلی‌پروپیلن پرداختند. نتایج این تحقیق آشکار ساخت که خواص مکانیکی و رفتار خزشی در حضور اشعه گاما در دوزهای پایین (kGy ۵ و ۱۰) بهبود می‌یابد. در حالی‌که در چندسازهایی با تابش بالاتر از kGy ۱۰ کاهش مقاومت‌ها مشاهده شد. خواص مکانیکی چندسازه‌هایی که تابش به آنها در حضور نیتروژن صورت گرفته است بیشتر ا زتابش در اتمسفر گزارش شده است. علاوه براین افزایش چشمگیر مقاومت به خزش (کرنش کششی) تحت بارگذاری استاتیکی به مدت ۶ ساعت در چندسازه‌های تحت تابش (kGy ۱۰) با و یا بدون سازگارکننده به ترتیب در حدود ۳۶ ٪ و ۱۹ ٪ مشاهده شد [۳۹]. Kim و همکاران (۲۰۱۴) خواص مکانیکی چند سازه سیمان- الیاف کنف را که الیاف آن با اشعه گاما اتصالات عرضی با اکریلامید ایجاد کرده است را بررسی کردند. در این تحقیق دامنه دوز kGy ۲۰-۱۰۰ با نرخ kGy/h ۱۰ مورد استفاده قرار دادند. نتایج نشان داد، درجات اتصال عرضی با افزایش دوز تابش افزایش می‌یابد. خواص مکانیکی این چندسازه‌ها به دلیل تابش گاما افزایش چشمگیری داشته است [۴۰]

۵-۱ تاثیر تابش گاما بر ویژگی‌های شیمیایی چوب

شکستن تصادفی زنجیره‌های سلولزی در چوب به دلیل تابش گاما، عکس‌العملی عادی است [۴۱, ۴۲]. Seifert (۱۹۶۴)، Tabirih و همکاران (۱۹۷۷) و Cutter و همکاران (۱۹۸۰) دریافتند که بخشی از هولوسلولزهای دیواره با تابش گاما تجزیه می‌شود [۴۳-۵۴]. Lhoneaux و همکاران (۱۹۸۴) تغییرات ساختاری دیواره‌های سلولی چوب سرو (*Pseudotsuga mensziessi*) و درخت لاله‌دار (*Liviodendron tulipifera*) را تحت تابش اشعه گاما تصدیق نمودند [۶۴]. Fengel و Wegener (۱۹۸۹) گزارش کردند که تابش گاما ساختار آناتومیکی و شیمیایی چوب را تغییر می‌دهد ولی تغییری را در خواص فیزیکی و مکانیکی ایجاد نمی‌کند [۹]. Seifert (۱۹۶۴) دریافت که دوزهای کم تابش گاما باعث تخریب پنتوزهای همی‌سلولز شده و اتصالات شیمیایی جدیدی را به‌وجود می‌آورد [۴۲]. Chawla (۱۹۸۵) گزارش کرده است که دوزهای بالاتر از ۵۰۰ kGy باعث افزایش انحلال پذیری چوب به دلیل دپلیمریزه شدن همی‌سلولز و تخریب آن می‌شود [۲۸]. تاثیر اشعه گاما بر اجزای استات سلولز و نیترات سلولز مورد بحث و بررسی قرار گرفته است [۴۷-۴۹]. محققان نتیجه گرفتند که زنجیره‌های سلولزی اصلاح شده شکسته شدند. Seifert (۱۹۶۴) به این نتیجه رسید که میانگین افزایش ۲۵ kGy اشعه گاما باعث کاهش ۱٪ سلولز در دامنه دوز ۱-۰ MGy می‌شود. این نسبت کاهشی کریستالیته سلولز با افزایش دوز تابش در دوزهای پایین‌تر بین ۰/۵ -۰ MGy توسط Zamani و همکاران (۱۹۸۱) تایید شده است [۴۹]. Fedel و Kasim (۱۹۷۷) از استات سلولز به عنوان شاخص مقدار جذب انرژی گاما تابش شده به جسم استفاده کرد. یافته‌های ایشان تاکید مجددی بر رابطه کاهش کریستالیته سلولز و دوز اشعه گاما دارد [۴۷]. Seifert (۱۹۶۴) دریافت که با افزایش مقدار رادیکالهای آزاد چوب بعد از تابش گاما به چوب اصلاح شده، مدت پلیمریزاسیون مجدد آنها تحت تاثیر قرارمی‌گیرد. Fengel و Wegener (۱۹۸۹) به این نتیجه رسیدند که زنجیره‌های سلولزی در طی ۱۰۰ روز بعد از پایان تیمار گاما همچنان به اجزای کوچک‌تر شکسته می‌شوند [۹]. Curling و Winandy (۲۰۰۸) گاما را در دامنه مختلفی از ۹ دوز تابشی (از یک منبع ^{60}Co) با دو نرخ مختلف دوز ۸/۵ kGy/h (مجموع دوزها شامل ۱۵/۰ kGy، ۲۵/۰ و ۵۰) و ۱۶/۹ kGy/h (مجموع دوزها از ۱۵/۰ kGy، ۲۰/۰، ۲۵/۰، ۳۷/۵، ۵۰/۰ و ۷۵) به آزمونه‌های سوزنی برگ کاج جنوب (*Pinus spp*) تاباندند. تابش گاما در بالاترین نرخ دوز (۱۶/۹ kGy/h) به‌طور واضحی تاثیرات منفی بر درجات لیگنین مدسن نسبت روش استریلیزه کردن با بخار یا با تابش گاما در نرخ دوز کم‌تر (۸/۵ kGy/h) داشت. تابش گاما در نرخ دوز ۱۶/۹ kGy/h مقدار لیگنین کلازن را از ۲۹/۵ ٪، تا ۲۸/۱ ٪ و ۲۷/۵ ٪ کاهش می‌دهد ولی به نظر می‌رسد که اثر کمتری نسبت به مجموع دوز داشته باشد. آنها همچنین دریافتند که گالاکتونوز که زنجیره جانبی همی‌سلولز را تشکیل می‌دهد، زودتر تحت تاثیر قرار می‌گیرد و بیشتر از زایلوز و مانوز که در زنجیره اصلی همی‌سلولز دیده می‌شوند، تحت تاثیر قرار می‌گیرد. علاوه بر این آرابینوز با رژیم‌های مختلف تابش نسبتا تحت تاثیر قرار می‌گیرد. نویسندگان در این رابطه به این موضوع که اتصالات β(۱⟶۳) اتصال آرابینان- زایلان نسبت به اتصالات β(۱⟶۶) اتصال گالاکتان- مانان زنجیره بیشتر تحت تاثیر قرار می‌گیرد، مشکوک هستند [۵۰].

منابع و ماخذ

۱- ب. محبی، "اصلاح چوب و مواد لیگنوسلولزی و فن آوری هایشان". اولین همایش ملی فراوری و کاربردی مواد سلولزی. دانشگاه تهران. (۱۳۸۲).

2- B. Fairand, D. Ražem, "Sterilization and Processing, in Radiation sterilization, Pharmaceutical Dosage Forms: Parenteral Medications", S. Nema, J.D. Ludwig, Editor, Informa Healthcare USA Inc: New York, N.Y. 268-296 (2010).

3- B. Katušin-Ražem, D. Ražem and M. Braun, "Irradiation treatment for the protection and conservation of cultural heritage artefacts in Croatia", Radiation Physics and Chemistry. 78(7/8), 729-731 (2009).

4- A. Unger, A. P. Schiewind and W. Unger, " A Handbook -Conservation of Wood Artifacts", Berkeley, Eberswalde and Berli, (2001).

5- L.H. Pratt, D.G. Smith and R.H. Thornton, J.B. Simmons, B.B. Depta and R.B. Johnson, "The effectiveness of two sterilisation methods when different precleaning techniques are employed", Journal of Dentistry. 27(3), 247-248 (1999).

6- L.C. Severiano, FA.R. Lahr, M.A.G. Bardi, A.C. Santos and L.D.B. Machado, "Influence of gamma radiation on properties of common Brazilian wood species used in artwork", Progress in Nuclear Energy. 52(8), 730-734 (2010).

7- C.V. Sharman and R.S. Smith, "Gamma radiation sterilization of ponderosa pine and birch sapwood", Wood and Fiber Science. 2(2), 134-143 (1970).

8- C.E. Shuler, "Gamma Irradiation Effects On Modulus of Elasticity Of Engelman Spruce", Forest Products Journal. 21(1), 49-51 (1971).

9- D. Fengel and G. Wegener, "Wood, Chemistry, Ultrastructure, Reactions", Germany, Reprint - Kessel Verlag (1989).

10- P. Kunstadt, "Radiation disinfestations of wood products", Radiation Physics and Chemistry. 52(1-6), 617-623 (1998).

11- P.J. Lester, D.J. Rogers, R.J. Petry, P.G. Connolly and P.B. Roberts, "The lethal effects of gamma irradiation on larvae of the Huhu beetle, Prionoplus reticularis: a potential quarantine treatment for New Zealand export pine trees". Entomologia Experimentalis et Applicata. 94(3), 237-242 (2000).

12- G. Magaudda, M. Adamo and F. Rocchetti, "Damage caused by destructive insects to cellulose previously subjected to gamma-ray irradiation and artificial ageing". Restaurator - International Journal for the Preservation of Library and Archival Material. 22(4), 242-250 (2001).

13- C.M. Freitag and J.J. Morrell, "Use of gamma radiation to eliminate fungi from wood", Oregon State University (OSU), 76-78 (1998).

14- K. Csupor, F. Divos and E. Gonczol, "Radiation induced effects on wood material and fungi" in Proceedings of 12th Int symposium on nondestructive testing of wood. Sopron (2000).

15- M. Hasan, "New knowledge on the wood sterilisation by gamma radiation", in Faculty of Forestry. University of Zagreb, Zagreb. 120 (2006).

16- S. Borysiak, "A study of transcrystallinity in polypropylene in the presence of wood irradiated with gamma rays", Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 101, 439-445 (2010).
17- E. Baysal, S.K. Ozaki and M.K. Yalinkilik, "Dimensional stabilization of wood treated with furfuryl alcohol catalysed by borates", Wood Science and Technology. 38, 405-415 (2004).
۱۸- ا. امیدوار، "چندسازه چوب پلیمر"، انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۲۷ (۱۳۸۸).
۱۹- ح. عبدل‌زاده، ق. ابراهیمی، م. لایقی، م. قاسمیه و س.ا. میرشکرایی، "بررسی ویژگیهای مکانیکی چوب پلیمر راش - فورفوریل الکل"، مجله صنایع چوب و کاغذ ایران. ۴ (۲)، ۱۴۳-۱۵۵ (۱۳۹۲).
۲۰- ح. عبدل‌زاده، ق. ابراهیمی، م. لایقی، م. قاسمیه و س.ا. میرشکرایی، "رفتار شکست چوب پلیمر راش فوران تحت مدI"، فصلنامهٔ علمی پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران. ۲۹ (۴)، ۶۰۹-۶۲۲ (۱۳۹۳).
۲۱- ف. نیستانی، "بررسی اثرات چند روش بهبود کیفیت چوب گونه‌های مناسب و بومی ایران برای مصارف صنایع نساجی کشور"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جنگلداری و اقتصاد جنگل. دانشگاه تهران، (۱۳۶۵).
22- Y.S. Hadi, I.S. Rahayu and S. Danu, "Physical and mechanical properties of methyl methacrylate impregnated jabon wood, Journal of the Indian Academy of Wood Science. 10(2), 77-80 (2013).
۲۳- ر. رضوانی، "تاثیر تیمار فورفوریلاسیون بر روی خواص فیزیکی و مکانیکی چوب صنوبر"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده جنگلداری و فناوری چوب. علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، (۱۳۸۹).
24- J.A. Meyer, "Treatment of wood-polymer systems using catalyst-heat techniques", Forest Product Journal. 15(9), 362-364 (1965).
25- J.T. Karsulovic, M. I. Dinator and R. Morales, "Nondestructive gamma radiation methods for detection of central rot in loges of lenga (Nothogagus pumilo)", Forest Products Journal. 52(11/12), 87-93 (2002).
26- E.H. Bakraji, N. Salman and H. Al-kassiri, "Gamma-radiation-induced wood-plastic composites from Syrian tree species", Radiation Physics and Chemistry. 61(3), 137-141 (2001).
27- E.H. Bakraji, N. Salman and I. Othman, "Radiation-induced polymerization of acrylamide within Okoume (Aucoumea klaineana pierre)", Radiation Physics and Chemistry. 64(4), 277-281 (2002).
28- J.S. Chawla, "Degradation of Ligno-Cellulose Biomass", Holzforschung und Holzverwertung. 37(2), 101-105 (1985).
29- N. Sheikh and F. Afshar Taromi, "Radiation, Radiation induced polymerization of vinyl monomers and their application for preparation of wood-polymer composites", Radiation Physics and Chemistry. 42(1-3), 179-182 (1993).
30- H. Struszczyk, D. Ciechańska, D. Wawro, A. Niekraszewicz and G. Strobin, "Review of alternative methods applying to cellulose and chitosan structure modification, Radiation processing of polysaccharides", International Atomic Energy Agency - IAEA, (2004).
31- S.A. Klimentov and I.F. Bysotskaia, "Investigation of radiation-destroyed wood 1. Constants of hydrolysis rate of hard hydrolysable polysaccharides of gamma irradiated lingocellulose", Khimiya Drevesiny, Riga. 5, 30-32 (1979).
32- I. Šimkovic, J. Mlynár, J. Alföldy, H. Lübke and M.M. Micko, "Increased extractability of irradiated wood meal", Holzforschung. 45(3), 229-232 (1991).

33- S.C. Oldham, P.F. Nolan and M.P. Maclenan, "A gamma-radiographic study of wood and polymer combustion and the effects of flame retardants", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 299(1-3), 661-665 (1990).
34- A. Bogner, B. Ljuljka and I. Grbac, "Improving the glued joint strength by modifying the beech wood (Fagus sylvatica L.) with gamma rays", Drvna industrija. 47(2), 68-73 (1997).
35- S.A. Klimentov, S.V. Skvortsov and B.G. Ershov, "Influence of gamma radiation on the chemical composition of wood hydrolysates", Journal of Applied Chemistry of the USSR. 53(2/7), 1254-1257 (1981).
36- A.Kh. Mubarak, A.Kh. Ruhul, B.S. Aliya and Z. Nasreen, "Effect of the Pretreatment with UV and Gamma Radiations on the Modification of Plywood Surface by Photocuring with Epoxy Acrylate", Journal of Polymers and the Environment. 14(1), 111-118 (2006).
37- L.C. Severiano, F.A.R. Lahr, M.A.G. Bardi and L.D.B. Machado,"Evaluation of the effects of gamma radiation on thermal properties of wood species used in Brazilian artistic and cultural heritage", Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 106, 783-786 (2011).
38- F. Divos and L. Bejo, "The effect of gamma irradiation on the MOE of various species", Wood Science and Technology. 40, 87-93 (2006).
39- S. Rimdusit, S. Wongsongyot, S. Jittarom, Ph. Suwanmala and S. Tiptipakorn, Effects of gamma irradiation with and without compatibilizer on the mechanical properties of polypropylene/wood flour composites. Journal Polymer Reserch. 18, 801-809 (2011).
40- D.Y. Kim, J.P. Jeun, H.B. Kim and P.H. Kang, Mechanical properties of kenaf fiber–cement composites containing kenaf gamma-ray grafted with acrylamide. Journal of Wood Science,. 60, 263-268 (2014)
41- D.L. Kenaga and E.B. Cowling, "Effect of gamma radiation on ponderosa pine: hygroscopicity, swelling and decay susceptibility", Forest Products Journal. 9(3), 112-116 (1959).
42- J.F. Seaman, M.A. Millett and E.J. Lawton, "Effect of high energy cathode rays on cellulose", Industrial & Engineering Chemistry Research. 44(12), 2848-2852 (1952).
43- B.E. Cutter, Jr.E.A. McGinnes and P.W. Schmidt, "X-ray scattering and X-ray diffraction techniques in studies of gamma-irradiated wood", Wood and Fiber Science. 11(4), 228-232 (1980).
44- K. Seifert, "Zur Chemie gammabestrahlten Holzes". Holz als Roh- und Werkstoff. 22(7), 267-275 (1964).
45- P.K. Tabirih, Jr.E.A. McGinnes, M.A. Kay and C.A. Harlow, "A note on anatomical changes of white oak wood upon exposure to gamma radiation", Wood and Fiber Science. 9(3), 211-215 (1977).
46- B.d. Lhoneux, R. Antonie and W.A. Cote, "Ultrastructural implications of gammairradiation of wood [Pseudotsuga mensziessi, Liridendron tulipifera]", Wood Science and Tecnology. 18(3), 161-176 (1984).
47- M.A. Fadel and S. A. Kasim, "A devised light absorption method for measuring fast neutron fluences and gamma doses in mixed radiation fields using a cellulose acetate detector", Nuclear Instruments & Methods. 146(3), 513-516 (1977).
48- V.S. Subrahmanyam, S.K. Das, B.N. Ganguly and A.DeA. Bhattacharya, "Positron anihilation study on gamma-irradiated cellulose acetate matrix", Polymer. 39(6-7), 1507-1508 (1998).

49- M. Zamani, E. Savides, S. Charalambous, "The response of cellulose nitrate to gamma radiation", Nuclear Tracks & Radiation Measurements-International Journal of Radiation Applications & Instrumentation, Part D. 4(3),171-176 (1981).
50- S. Curling and J.E.Winandy, "Comparison of the effects of gamma irradiation and steam sterilization on southern pine sapwood", Forest Products Journal. 58(1/2), 87-90 (2008).