

## موقعیت و نقش چوب‌کشی در درختان (مطالعه موردی: اکالیپتوس‌ها)

نوشین طغرای

- استادیار، بخش تحقیقات گیاهشناسی، عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، تهران، پست الکترونیک: ntoghraie@gmail.com

تاریخ دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۴ تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۴

### چکیده

نهال‌های یکساله پنج گونه اکالیپتوس کاملدونسیس، میکروتکا، ویمینالیس، گلوبولوس و گونی‌ئی، به مدت ۱۴ هفته در فصل رویش تیمار شدند. در نهالهای موفق، شاخه‌ای با زاویه حداقل ۶۰ درجه خم شد. ساختمان آناتومی ساقه، ۱۵ روز بعد از خم کردن و هر دو هفته یکبار، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که نهال‌های خم شده، بیش از نهالهای مستقیم، چوب‌کشی حاوی فیبر ژلاتینی تولید کردند و تولید فیبرهای ژلاتینی در یک حلقه رویشی، در ارتباط نزدیک با تشکیل چوب‌کشی می‌باشد. تمامی نهال‌ها، در تمام گونه‌های مورد بررسی به‌استثنای گونه اکالیپتوس گلوبولوس، واجد برون مرکزی بوده و دست به تولید چوب‌کشی حاوی فیبرهای ژلاتینی زدند. هرچند که برون مرکزی در بین گونه‌ها و در نقاط مختلف ساقه دارای تفاوت معنی‌دار بود، اما هیچ تفاوت معنی‌داری بین گونه‌های مختلف این بررسی از نظر میزان چوب‌کشی مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: اکالیپتوس، آناتومی چوب، چوب‌کشی، چوب نرمال، فیبر ژلاتینی.

### مقدمه

رفتار طبیعی درختان، رویش راست و عمودی نسبت به سطح زمین است. اگر فرم طبیعی ناشی از این رفتار به نحوی، به‌عنوان مثال از طریق خاک و یا بادهای شدید، آسیب ببیند، ساقه خمیده‌ای که نتیجه می‌شود، تولید چوبی غیرعادی می‌کند که اگر ساقه خیلی بزرگ نباشد، برای ترمیم راستای ساقه و در غیر این صورت برای محکم کردن درخت و جلوگیری از خمیدگی بیشتر بکار می‌رود. این چوب غیرعادی، چوب واکنشی است. بعلاوه اینکه کامبیوم در پاسخ به توزیع نامتقارن تنش‌هایی که در ساقه خمیده تولید شده‌اند، تشکیل سلول‌های چوبی را تسریع می‌کند (Bamber, 2001).

چوب واکنشی شامل دو نوع چوب خاص است که عمدتاً در ساقه خمیده درختان یافت می‌شود. در سوزنی‌برگان تشکیل چوب فشاری پاسخی به مقادیر زیاد اکسین است، درحالی‌که در پهن‌برگان چوب‌کشی در نتیجه غلظت‌های پائین اکسین تشکیل می‌گردد (Chafe, 1977). البته در اغلب این بررسی‌ها ایجاد تنش‌های بسیار زیاد در اثر تمایزیابی سلول‌ها در بافت‌های واکنشی تأیید شده است (Berlyn, 1961).  
خم شدن شاخه‌ها و ایجاد تنش، ممکن است در اثر نیروهای خارجی مانند باد، برف و یا وزن خود شاخه باشد، یا در نتیجه نیروهای داخلی که در اثر تمایزیابی دیواره سلول‌ها تولید می‌شود (Badia et al., 2006). نیروی حقیقی که یک شاخه را با سطح مقطع معینی خم می‌کند، لنگر

می‌کنند که تمایل به راست و محکم کردن درخت دارد (Yoshida *et al.*, 2000).

با وجود آنکه چوب فشاری در ساقه‌های راست و مستقیم بازدانگان بندرت دیده می‌شود، چوب‌کشی در ساقه‌های قائم برخی نهاندانگان (Fahn, 1990) دیده می‌شود. در مناطق حاره شواهدی وجود دارد که چوب‌کشی در درختان راست و مستقیم تشکیل می‌شود تا جابجایی تاج را برای به‌دست آوردن نور کافی در جنگل‌های بسیار متراکم تأمین کند (Chafe, 1977).

چوب واکنشی جزء معمول و رایج ساقه‌های خمیده (غیرقائم) و شاخه‌هاست. معمولاً همبستگی خوبی بین میزان خم یک ساقه و مقدار چوب‌کشی و یا درصد فیبرهای ژلاتینی وجود دارد. البته گاهی هم در گونه‌هایی مانند برخی گونه‌های افرا، مقدار چوب‌کشی به خمیدگی ارتباط ندارد و یا حتی برخی درختان خمیده را می‌توان خالی از فیبرهای ژلاتینی و چوب‌کشی یافت (Yoshida *et al.*, 2000).

البته تفاوت‌های اساسی تشریحی چوب‌کشی به دلیل فیبرهاست. خصوصیات آورندها در نواحی مشخص چوب‌کشی در مقایسه با چوب نرمال بدون تغییر باقی می‌ماند. اما قطر و تعداد آنها در واحد سطح کاهش می‌یابد (Toghraie *et al.*, 2007; Sayar & Tarmian, 2010). گاهی گفته می‌شود که اشعه چوبی نیز (در صنوبر و توسکا) در این ناحیه اندازه‌اش کوچک‌تر می‌شود (Ruelle *et al.*, 2007) و پارانشیم طولی نیز از نظر مقدار و طول نقصان می‌یابد (Chafe, 1977).

هم‌کشیدگی چوب‌کشی معمولاً حدود ۲ برابر چوب نرمال است، اما در برخی گونه‌ها متفاوت است. میزان افزایش هم‌کشیدگی طولی هم بطور مستقیم با تعداد فیبرهای ژلاتینی بستگی دارد. البته در خود لایه ژلاتینی هیچ هم‌کشیدگی اتفاق نمی‌افتد، زیرا میکروفیبریل‌های این لایه تقریباً به موازات محور سلول قرار می‌گیرند و مضافاً به اینکه خود لایه هم اتصال ناپایداری به قسمت‌های دیگر دیواره دارد. بنابراین منشأ هم‌کشیدگی زیاد چوب‌کشی، لایه‌های  $S_1$  و  $S_2$  در فیبرهای ژلاتینی می‌باشند که زاویه بزرگی

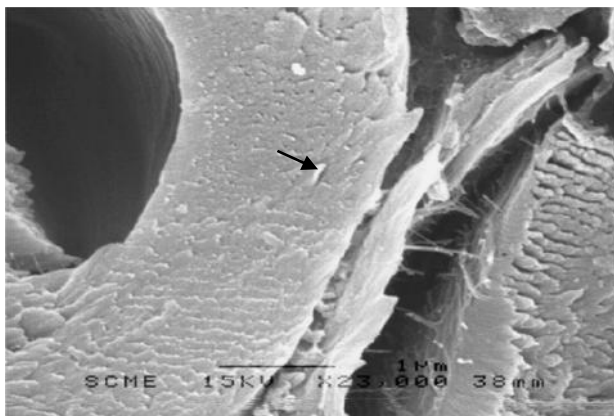
خمش است که ممکن است از تنش‌های رویش داخلی نیز سرچشمه بگیرد. بسیاری از سلول‌ها وقتی که تمایز می‌یابند تمایل به هم کشیده شدن دارند، در نتیجه سبب توسعه تنش‌های کششی می‌شوند که با مقاومت مغز چوب که مسن‌تر است، روبرو می‌شود. در درجات بسیار بالا، مغز چنان فشرده می‌شود که شکست‌های فشاری بسیاری در چوب پدیدار می‌شود. در درختان اکالیپتوس در استرالیا، در مرکز درخت شکنندگی ایجاد شده و شکست‌های فشاری به اندازه‌ای توسعه می‌یابند که تیرهای بزرگ چوبی تحت بارهای بسیار ناچیزی شکسته می‌شوند (Onaka, 1949).

بیشتر محققان کشش زیاد در فیبرهای ژلاتینی چوب‌کشی را معلول کریستالی شدن سلولز در این لایه می‌دانند که می‌تواند سلول‌ها را کوتاه کرده و کشش زیادی تولید کند (Chudnoff & Tischler, 1963).

لایه ژلاتینی یک ورقه از میکروفیبریل‌های سلولز است که نسبت به محور طولی سلول با زاویه حدود  $5^{\circ}$  قرار می‌گیرد (شکل ۱). این لایه مخصوص، اغلب ضخامتش بیشتر و یا مساوی ضخامت سلول‌های فیبر چوب نرمال است و در سمت حفره سلول تشکیل می‌شود و ظاهری واکنشیده و آماس کرده دارد، درحالی‌که در بیشتر نقاط نیز از لایه‌های قبلی خود جدا شده است (Chafe, 1977). لایه ژلاتینی به سستی به دیواره سلولی می‌چسبد (Toghraie *et al.*, 2006) حتی گاهی اوقات کاملاً از دیواره جدا می‌گردد. اینکه آیا ظاهر واکنشیده لایه ژلاتینی به دلیل نحوه آماده‌سازی نمونه است و یا به دلایل دیگر مانند تنش‌های رشد (Jourez, 2001)، هیچ یک قطعی نیست، اما به هر حال لایه ژلاتینی کم‌وبیش به صورت یک آستین شل درون سلول می‌باشد.

در بازدانگان میکروفیبریل‌های سلولزی مانند فنرهای ماریچی عمل می‌کنند، این فنرها از آنجاکه در یک وضعیت فشرده قرار گرفته‌اند، نیروی فشاری اعمال می‌کنند که درخت را راست و محکم نگاه می‌دارد. در نهاندانگان، میکروفیبریل‌های سلولزی در وضعیت اتساع یافته و به صورت طولی قرار گرفته‌اند، بنابراین نیروی کششی اعمال

سه نهال از هر گونه، منتقل شد و نگهداری و آماربرداری متوالی در فصل رویش از آنها انجام شد (۱۴ هفته).



شکل ۱- مقطع عرضی دو فیبر ژلاتینی در اکالیپتوس گونی ئی به طوری که لایه ژلاتینی با میکروفیبریل های تقریباً موازی محور طولی (پیکان) از لایه های مجاور خود جدا شده است (Toghraie et al., 2006).



شکل ۲- یکی از نهال های اکالیپتوس گونی ئی (gu-2-1) که بطور مصنوعی خم شده است.

نسبت به محور طولی سلول دارند (Ruelle et al., 2007). ابعاد الیاف چوب کششی نیز متفاوت از چوب نرمال است، به عنوان مثال در راش طول و ضخامت دیواره سلولی بیشتر و قطر حفره سلولی کمتر می شود (Tarmian et al., 2008). در تهیه خمیر کاغذ نیز با وجود افزایش ۱۳ درصدی بازده خمیر، هر چند که وجود الیاف چوب کششی صنوبر (Hoseinzadeh et al., 2015) و اکالیپتوس گلوبولوس (Aguayo et al., 2012) داخل خمیر کاغذ، تأثیر چندانی در کاهش کیفیت خمیر کاغذ و کاغذ تولید شده ندارد، اما وقوع چوب کششی با تغییرات قابل توجهی در خواص آناتومی آن همراه است که در نتیجه کاربردهای آن را تحت تأثیر قرار می دهد (Yoshida et al., 2000).

امروزه انتظارات بشر از درختان از حد برداشت ماده اولیه چوبی فراتر رفته است و با روبه اتمام گذاشتن منابع سوخت های فسیلی و نیز محدودیت روزافزون سطح جنگل ها، به فکر انجام دادن تغییراتی در این ماده اولیه است تا بتواند چوبی با کیفیت بهتر، تنش های رشد کمتر و یا میزان لیگنین قابل کنترل و در نهایت مقاوم تر پرورش دهد. البته شناخت فرایند تولید چوب نرمال و واکنشی، می تواند عامل مؤثری در رسیدن به این اهداف باشد. در این پژوهش تلاش می شود که تفاوت تشکیل چوب کششی در اثر خم کردن در گونه های مختلف نهال های اکالیپتوس معلوم شود. همچنین ویژگی های نهال های مستقیم و خم شده از این نظر بررسی می شوند.

## مواد و روش ها

نهال های یکساله پنج گونه اکالیپتوس کاملدولنسسیس<sup>۱</sup>، میکروتکا<sup>۲</sup>، ویمینالیس<sup>۳</sup>، گلوبولوس<sup>۴</sup> و گونی ئی<sup>۵</sup>، از محل گلخانه مؤسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور به قطعه زمینی در محل قطعه سیستماتیک باغ گیاه شناسی، به تعداد

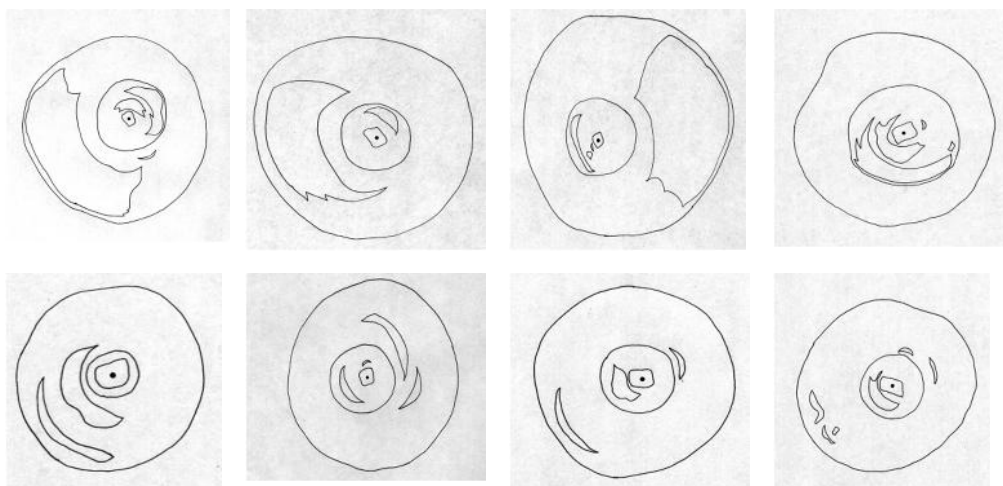
- 1- *E.camaldulensis*
- 2- *E.microtheca*
- 3- *E.viminalis*
- 4- *E.globulus*
- 5- *E.gunnii*

چوب‌کشی در برش طولی و عرضی، توسط میکروسکوپ نوری (Olympus BX-60) مورد بررسی قرار گرفت. برای تشریح چوب‌گونه‌های مورد بررسی، از فهرست ویژگی‌های میکروسکوپی پیشنهادی کمیته بین‌المللی آناتومیست‌های چوب (IAWA, 1989) استفاده شد.

برای مقایسه نواحی چوب‌کشی در مقاطع مختلف نهال‌ها، با میکروسکوپ نوری مجهز به اسباب ترسیم، تمامی مقاطع هر نهال بر اساس وجود فیبرهای زلاتینی، با بزرگنمایی ۲۵× ترسیم شد و بعد با استفاده از ماکروبی که در محیط نرم‌افزار Optimas (Optimas ver.6.5. 172, 1987, 1999) نوشته شد و پس از اسکن کردن تمامی مقاطع، عوامل مربوط به سطح دایره‌رویشی، سطح اشغالی توسط چوب‌کشی (شکل ۳) فاصله مرکز مقطع درخت از مرکز دایره‌رویشی و در نتیجه درصد برون مرکزی و برخی عوامل وابسته دیگر، برای هر برش و هر درخت استخراج و برای آنالیز بعدی به برنامه Excel 2000 منتقل شد. کاهش فراوانی آوندها به صورت نظری برآورد شد. کلیه صفات اندازه‌گیری شده بر اساس طرح فاکتوریل ۳ عاملی متغیر: نوع راستای نهال، گونه و ارتفاع ساقه در قالب طرح کاملاً تصادفی آنالیز واریانس شدند.

در فصل رویش، در نهالهای موفق، شاخه‌ای با زاویه بیش از ۶۰ درجه خم شد و با نوارهای پهن برای ایجاد چوب واکنشی مهار شد (شکل ۲). نمونه‌برداری از چوب نهال‌ها، برای بررسی ساختمان آناتومی ساقه، پس از ۱۵ روز بعد از خم کردن و هر دو هفته، انجام شد. در مواردی که تعداد شاخه‌ها کافی بود، هر دو هفته نمونه‌برداری شدند و در غیر این صورت سعی شد تا از دو هفته اول و آخر و هفته‌های میانی با فواصل منطقی نمونه‌برداری شود تا آمار آنها بتواند کل دوره را پوشش دهد.

پس از قطع نمونه شاخه‌ها از دو سانتی‌متری محل گره، توسط قیچی باغبانی، نمونه‌ها بلافاصله در کیسه‌های پلی‌اتیلنی به محل آزمایشگاه منتقل و به سه قطعه بن، میانه و رأس (با توجه به ارتفاع و مرفولوژی نهال‌ها) بریده شدند و تا هنگام بررسی در محلول FAA، نگهداری شدند. به وسیله میکروتوم لغزشی<sup>۲</sup> و نیز در مواردی به صورت دستی، برش‌های نازک طولی و عرضی به ضخامت حدود ۱۵ میکرون با پوست و بدون پوست تهیه شد و با FASGA (Toghraie, 2009)، رنگ‌آمیزی شدند. برای تشریح ساختمان آناتومی چوب گونه‌های مورد بررسی، در این طرح و اندازه‌گیری‌ها، از هرگونه، تعداد ۵ تا ۱۰ اسلاید از محل چوب نرمال و



شکل ۳- نمونه‌ای از طرح‌واره‌های ترسیم شده از مقطع عرضی نهال‌ها، توسط ابزار ترسیم میکروسکوپی که سطح اشغالی توسط چوب‌کشی را در نهال‌های خمیده (ردیف بالا) و نهال‌های مستقیم (ردیف پایین) نشان می‌دهد.

1- formalin: ethanol 50%: acetic acid, 1:1:18, v/v

2- sledge microtome

## نتایج

نهال‌های غیر خمیده یا مستقیم از تاج تقریباً متقارنی برخوردار بودند، اما در نهالهای خم شده شاخه‌ها و به تبع آن برگ‌ها در طرف بالای خمیدگی بیشتر بودند.

درختان جوان اکالیپتوس، پس از خم کردن آزمایشی شاخه، بلافاصله به محرک پاسخ دادند که این پاسخ به صورت تشکیل فیبرهای ژلاتینی در قسمت فوقانی ساقه، رویش شعاعی نامتقارن (برون مرکزی) در همان سمت ساقه و کاهش تشکیل و تمایز آوندها بود. با توجه به اینکه تشکیل چوب‌کشی به شکل الیاف ژلاتینی، پدیده طبیعی در دوره رشد این اکالیپتوس‌ها است، خم کردن ساقه، تشکیل چوب‌کشی را تشدید و تسریع کرد.

تمامی نهال‌ها و تمام نمونه‌ها اعم از خم کرده و مستقیم، دست به تولید چوب‌کشی به شکل فیبرهای ژلاتینی زدند (شکل ۳) و هیچ‌یک از آنها خالی از چوب‌کشی نبودند. حتی در تجزیه واریانس اطلاعات مربوط به چوب‌کشی، بین نمونه‌های مستقیم و خمیده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، اما به طور کلی نمونه‌های خم شده، بیش از نمونه‌های مستقیم، چوب‌کشی به شکل فیبر ژلاتینی تولید کردند (جدول ۱). این تفاوت به‌ویژه در حلقه رویشی دوم که با وجود آمدن آن همزمان با خم کردن آزمایشی نهال‌ها بود، چشمگیرتر بود.

میزان سطح متوسط اشغالی توسط چوب‌کشی در مقطع عرضی برای هر نهال، پس از دو هفته تیمار، حداکثر بود، اما طی هفته‌های بعد کاسته شد، البته از هفته نهم تا دهم، دوباره بتدریج افزوده شد (آمار آن آورده نشده است). این منطقه به صورت فیبرهای ژلاتینی ظاهر می‌شود که می‌تواند به دلیل تلاش مداوم درخت برای برگرداندن ساقه از حالت خمیده به حالت قائم اولیه باشد. البته هیچ تفاوت معنی‌داری بین گونه‌های مختلف این بررسی در مورد میزان چوب‌کشی مشاهده نشد.

با پیشروی به سمت رأس ساقه‌ها، از میزان چوب‌کشی کاسته می‌شود (جدول ۲). مشاهدات حرکات طبیعی برای بازیابی حالت اولیه ساقه و توسعه بافت چوبی مربوطه در ساقه‌های خم شده نشان می‌دهد که بازیابی موقعیت قائم ساقه، از بالای ساقه شروع می‌شود و بعد به سمت پائین پیشروی می‌کند و تولید چوب‌کشی از بالا به پائین افزایش می‌یابد (جدول ۲).

روند رویش شعاعی نامتقارن و در نتیجه برون مرکزی نیز بهمان ترتیب ذکر شده در مورد میزان چوب‌کشی است (جدول ۱ و ۳). از آنجایی که در این مطالعه همبستگی معنی‌داری میان برون مرکزی و کاهش تعداد آوندها به دست نیامده است، برای تسهیل درک هماهنگی برون مرکزی و کاهش تعداد آوندها، علاوه بر مقادیر عددی، مقادیر کیفی برون مرکزی نیز در جدول ۱ درج شده است.

در این مطالعه همبستگی معنی‌داری (در سطح ۱٪) میان برون مرکزی و درصد چوب‌کشی به دست آمد (آمار آن آورده نشده است). به طوری که میزان درصد برون مرکزی، با خم کردن آزمایشی نهال‌ها افزایش یافت. حداکثر مقدار برون مرکزی برابر ۲۱٪ بود (با نماد ++ در جدول ۱ نشان داده شده است) که در آخرین هفته آزمایش و در نهال‌های خمیده اکالیپتوس میکروتکا و در دایره رویش جاری (دوم) یافت شد، البته این بدان معناست که نهال‌های مستقیم هم به استثنای اکالیپتوس گلوبولوس، خالی از برون مرکزی نبودند (شکل ۴).

فرایند تمایزیابی آوندها نیز در ناحیه چوب‌کشی به همین منوال است. بنابراین مشاهده می‌شود که با افزایش مدت خم کردن، در قسمت فوقانی ساقه، تقسیم سلولی بیشتر شده، در نتیجه شعاع مقطع عرضی نهال در سمت فوقانی بیشتر می‌گردد. بنابراین میزان تقسیم سلولی کامیوم نیز با طول مدت خم کردن رابطه مستقیم دارد. بدین ترتیب در دوره تحریک زیاد، تعداد آوندها در واحد سطح به شدت تنزل می‌یابد و بافت زمینه تقریباً پوشیده از فیبرهای ژلاتینی می‌شود (شکل ۵) و بعد در دوره تحریک کم، تعداد آوندها

چوب‌کشی بین گونه‌ها نیز از نظر آماری معنی‌دار نبود. از این رو باید اضافه کرد که تفاوت بین متغیرهای این تحقیق نزد درختان بالغ بسیار بیشتر می‌باشد (Toghraie *et al.*, 2007). بنابراین هنگام استنتاج، سن نهال‌ها باید لحاظ شود.

در میان فیبرهای ژلاتینی و نرمال به صورت عادی در می‌آید (شکل‌های ۵ تا ۸) در میان پنج گونه مورد مطالعه در این تحقیق و نیز میان ارتفاعات مختلف ساقه، از ابتدا تا انتهای دوره رویش، فقط برون مرکزی دارای تفاوت معنی‌دار بود. البته تغییرات میزان

جدول ۱- میانگین کمی و کیفی صفات رویشی در نهالهای مستقیم و خمیده اکالیپتوس

+ ضعیف ++ قابل توجه +++ بسیار زیاد

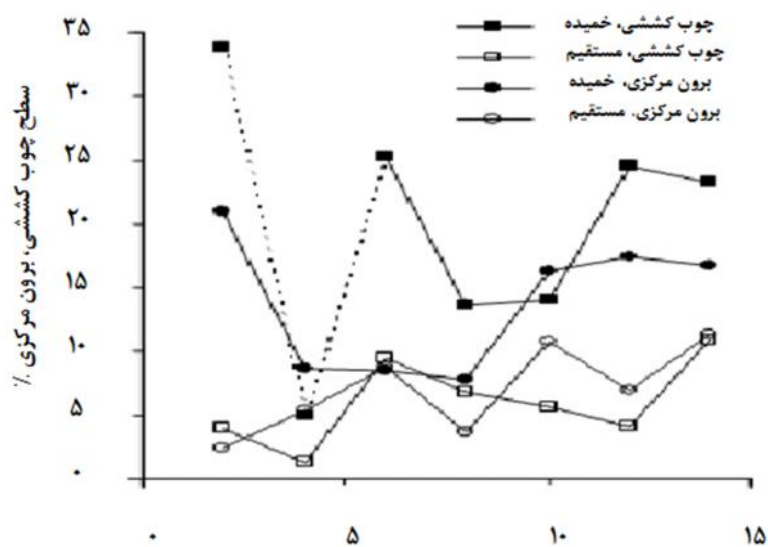
برون مرکزی	کاهش تعداد آوند				سطح اشغالی چوب‌کشی (%)		صفات رویشی
	راستای نهال						گونه
	خمیده	مستقیم	خمیده	مستقیم	خمیده	مستقیم	
	++	+	+++	-	۳۰	۲۲	<i>E.microtheca</i>
	-	-	++	-	۲۰	۱۵	<i>E.gunnii</i>
	+	-	+	-	۲۵	۱۵	<i>E.globulus</i>
	+	+	++	-	۲۷	۲۰	<i>E.viminalis</i>
	+	+	++	-	۳۳	۲۵	<i>E.camaldulensis</i>

جدول ۲- میزان درصد سطح اشغالی چوب‌کشی در نهالهای مستقیم (۱) و خم کرده (۲) در اولین و آخرین هفته تیمار در ارتفاعات بن H<sub>1</sub>، میانه H<sub>2</sub> و رأس ساقه‌ها H<sub>3</sub> در پنج گونه مورد مطالعه

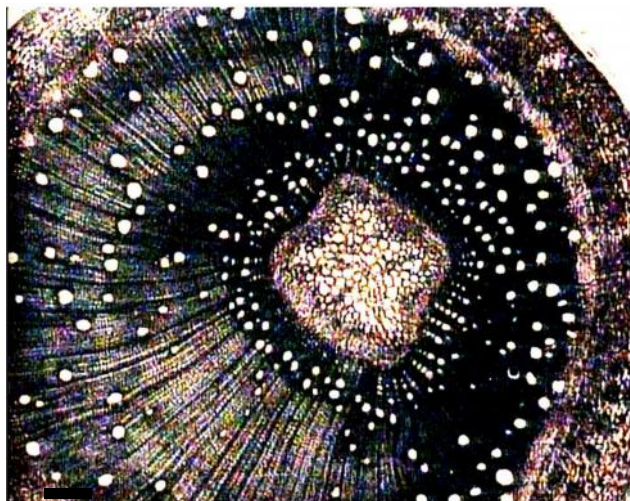
گونه	هفته اول			هفته آخر		
	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>
<i>E.microtheca</i>	۱	۸	۰	۳	۳	۰
	۲	۲۷	۱۵	۳۵	۳۲	۱۲
<i>E.gunnii</i>	۱	۳	۰	۰	۲	۰
	۲	۲۱	۲۹	۲۸	۳۷	۳۰
<i>E.globulus</i>	۱	۳	۲	۰	۰	۰
	۲	۲۵	۳۱	۲۲	۳۹	۲۵
<i>E.viminalis</i>	۱	۵	۱	۱	۰	۰
	۲	۲۹	۳۰	۳۷	۳۱	۱۷
<i>E.camaldulensis</i>	۱	۱۱	۵	۳	۵	۰
	۲	۳۳	۳۴	۴۱	۳۸	۳۲

جدول ۳- میزان درصد برون مرکزی در نهالهای مستقیم (۱) و خم کرده (۲) در اولین و آخرین هفته تیمار در ارتفاعات  $H_1$ ، میانه  $H_2$  و رأس ساقه‌های  $H_3$  در پنج گونه مورد مطالعه

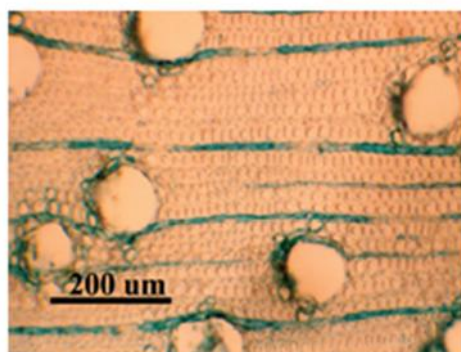
گونه	هفته اول			هفته آخر		
	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_1$	$H_2$	$H_3$
<i>E.microtheca</i>	۱	۳	۰	۵	۰	۰
	۲	۷	۵	۲۱	۱۷	۰
<i>E.gunnii</i>	۱	۰	۰	۳	۰	۰
	۲	۱	۰	۷	۳	۳
<i>E.globulus</i>	۱	۰	۰	۰	۰	۰
	۲	۰	۰	۴	۳	۳
<i>E.viminalis</i>	۱	۴	۰	۰	۲	۰
	۲	۶	۶	۷	۰	۰
<i>E.camaldulensis</i>	۱	۵	۴	۷	۷	۰
	۲	۵	۱	۱۷	۱۵	۱۱



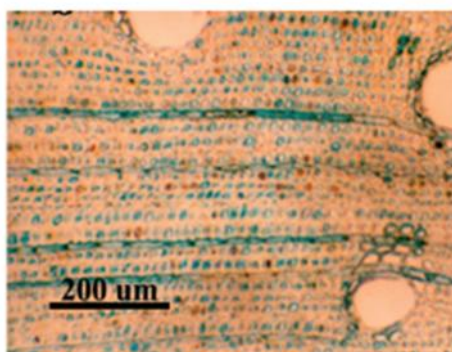
شکل ۴- نمودار میانگین برون مرکزی و چوب کششی در نهالهای مستقیم و خمیده گونه‌های مورد مطالعه اکالیپتوس در طی ۱۴ هفته



شکل ۵- وقوع همزمان برون مرکزی، تشکیل چوب کَششی و کاهش فراوانی آوندها، برای بازیابی راستای اولیه در نهال اکالیپتوس کاملدولنسیس (مقیاس ۲۰۰ میکرون)

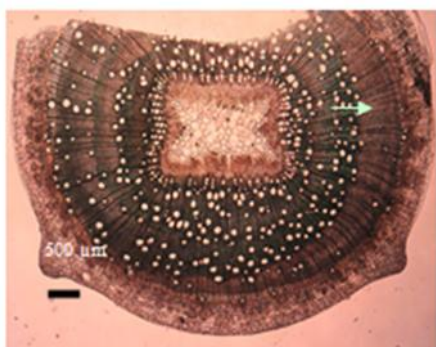


*E. globulus* (چوب نرمال)

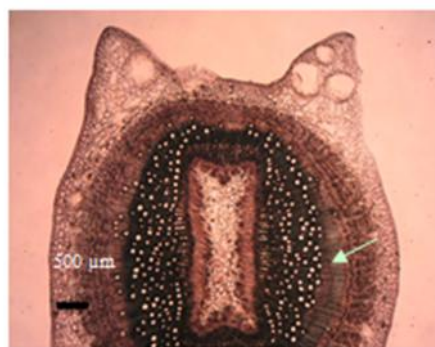


*E. globulus* (چوب کَششی)

شکل ۶- چوب کَششی و نرمال در اکالیپتوس گلوبولوس



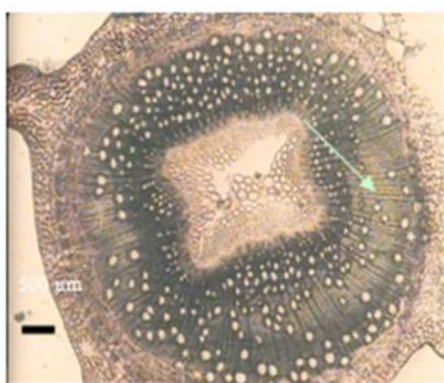
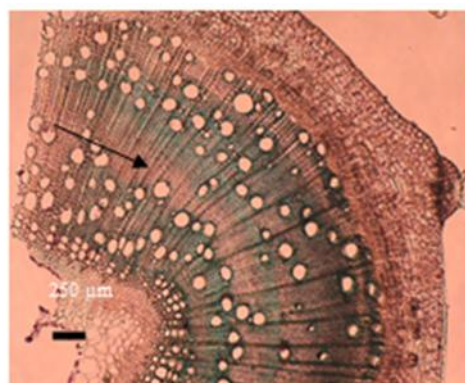
*E. microtheca*



*E. gunnii*

شکل ۷- چوب کَششی (پیکان) و مقابل در اکالیپتوس گونئی و میکروتکا



*E. camaldulensis**E. viminalis*

شکل ۸- چوب کشتی (پیکان) و مقابل در اکالیپتوس ویمینالیس و کاملدولنسسیس

### بحث

در واقع بسیاری از تعاریف چوب کشتی نیز بر پایه حضور همین لایه در غشای فیبرهاست.

مشاهدات عینی و بررسی‌های میکروسکوپی Toghraie و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که در نمونه‌های مستقیم اکالیپتوس که ساقه آنها به صورت متقارن رشد کرده بود، میزان فیبرهای ژلاتینی در ساقه بسیار ناچیز و حتی نزدیک به صفر است. این یافته مؤید آن است که فیبرهای ژلاتینی در یک حلقه رویشی، در ارتباط نزدیک با تشکیل چوب کشتی می‌باشند که آن‌ها به نوبه خود با خم کردن درختان مرتبط است و معمولاً در قسمت فوقانی خمیدگی ساقه تشکیل می‌گردد. البته درختان سریع‌الرشد دیگر هم مانند صنوبر، مقادیر زیادی فیبرهای ژلاتینی تولید می‌کنند (Isebrands & Benseid, 1972) و پاسخ به محرک، در حوالی قاعده ساقه بیشتر است؛ اما در برخی اکالیپتوس‌ها هم مانند کلن‌های کنگو، اصولاً فیبر ژلاتینی مشاهده نشده است (Bailleres *et al.*, 1995).

در دوره تحریک زیاد، تعداد آوندها در واحد سطح به شدت تنزل می‌یابد و بافت زمینه تقریباً پوشیده از فیبرهای ژلاتینی می‌شود (شکل ۵) و بعد در دوره تحریک کم، تعداد آوندها در میان فیبرهای ژلاتینی و نرمال به صورت عادی درمی‌آید (شکل‌های ۵ تا ۸). بنابراین می‌توان تصور کرد هنگامی که محرک آغاز به تحریک می‌کند و گیاه بر آن است تا پاسخ کاملی به محرک خمیدگی بدهد و راستای قائم قبلی خود را بازیابی کند، تولید فیبرهای کشتی با لایه ژلاتینی که تنش رشد

با وجود تاج متقارن نهال‌های غیر خمیده، در نهال‌های خم شده شاخه‌ها و به تبع آن برگ‌ها در طرف بالای خمیدگی بیشتر بودند. بنابراین به نظر می‌رسد که این واکنش به وسیله کاستن لنگر خمشی روی قسمت تحتانی درخت، وزن تاج را تنظیم می‌کند. اصولاً پیدایش چوب کشتی هم در این نهال‌های مستقیم به نظر می‌رسد که به همین منظور باشد. بدین معنا که با رشد بیشتر نهال و اضافه شدن وزن برگ‌ها و شاخه‌ها و نیز افزایش تنش‌های رشد، سیستمی برای تنظیم جدید برای پایداری درخت در زمین نسبت به تکیه‌گاه آن مورد نیاز است که تشکیل چوب واکنشی در راستای همین نیاز می‌باشد.

تغییرات فیبرها که با تشکیل چوب کشتی همراه است باعث تغییرات اساسی در بافت چوبی چوب کشتی می‌گردد. فیبرهای تغییر یافته معمولاً در چوب آغاز ظهور می‌کنند، اما در برخی گونه‌های درختی همیشه سبز مانند اکالیپتوس‌ها، منطقه چوب کشتی می‌تواند در تمام سطح دایره رویشی به وجود آید (شکل ۳). به عنوان یک قاعده کلی می‌توان گفت که در چوب کشتی درصد فیبرها در واحد سطح بیش از چوب نرمال است، این فیبرها معمولاً قطر کمتر، طول بیشتر و نیز تعداد روزنه کمتری نسبت به چوب نرمال دارند، از این گذشته دیواره سلولی ضخیم‌تر و تقریباً مدورتر است (Toghraie *et al.*, 2007). البته همان‌گونه که گفته شد، تغییر بسیار مشخص فیبرها در چوب کشتی، کیفی و با تشکیل لایه ژلاتینی همراه است که

- Chudnoff, M. and Tischler K., 1963. Fiber morphology of *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. Suppl. No. 1, PP. 23.
- Fahn, A., 1990. Plant anatomy. 4<sup>th</sup> ed. Pergamon press, Oxford, PP. 588
- Hoseinzadeh, j., Abdolkhani, A., Emaminasab, M., Khodabandelou, H. and Ahmadi, M., 2015. Characteristics of paper made from poplar tension wood and normal wood, Iranian Journal Wood Paper Research, 30(4):76-78
- IAWA Committee, 1989. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bul. n.s. 10(3):219-261
- Isebrands, J. G. & Benseid, D.W., 1972. Incidence and structure of gelatinous fibers within rapid-growing eastern cottonwood. Wood Fiber 4 (2) 61-71.
- Jourez, B., Riboux, A. and Leclercq A., 2001. Anatomical characteristics of tension Wood and opposite Wood in young inclined stems of poplar (*Populus euramericana* cv."Ghoy"), IAWA Journal, Vol. 22 (2): 133-157.
- Onaka, F., 1949. Studies on compression and tension Wood. Wood Research Bulletin, 1:1-88.
- Ruelle, J., Yoshida, M., Clair, B. and Thibaut, B., 2007. Peculiar tension wood structure in *Laetia procera* (Poepp.) Eichl.(Flacourtiaceae). Trees Structure and Function. 21 (3): 345-355.
- Sayar, M. and Tarmian A., 2010. The effect of tension wood formation on the anatomical characteristics and gelatinous layer formation in the fibers of poplar (*P. nigra*), J. of Wood & Forest Science and Technology, 17(2):133-144
- Tarmian, A., Faezipour, M., Karimi, A., Parsapajouh, D. and Moezipour, A., 2008. Beech: comparing physical properties and fibre biometry between tension wood and normal wood. Pajouhesh va sazandegi, 21(4):39-45.
- Toghraie, N., 2009. Final report of Formation and lignifications of xylem tissue of tension wood and normal wood in 3 Eucalypt species, RIFR Pub. 113 P.
- Toghraie, N., Hedjazi, R., Parsapajouh, D. and Yazdani moghadam, H., 2007. The early formation of tension wood in *Eucalyptus gunnii* branches, Pajouhesh va Sazandegi, 76: 32-38
- Toghraie, N., Parsapajouh, D., Ebrahimzadeh, H., Thibaut, B., Gril, J., and Yazdani moghadam, H., 2006. Tension wood in eucalypt trees. Journal of Science (University of Tehran), 32, 13-22
- Yoshida, M., Okuda T. and Okuyama, T., 2000. Tension Wood and growth stress induced by artificial inclination in *Liriodendron tulipifera* Linn and *Prunus* sp. Annals of Forest Science.. 57: 739-746.

کشی زیادی را در خود تولید می‌کنند و کمک مؤثری در برگرداندن ساقه به حالت قائم اولیه دارند، ضروریست. در این مرحله به نظر می‌رسد که پس از تحریک کامبیوم برای تقسیم سلول‌های بیشتر، تمایزیابی آوردها به نفع فیبرهای ژلاتینی تخفیف می‌یابد و بعد با ادامه تحریک، از شوک اولیه کاسته شده و تعداد آوردهای تمایز یافته به حال عادی بازمی‌گردد؛ از این رو چنین به نظر می‌رسد که گیاه به سلول‌های تخصصی خود برای فعل‌و‌انفعالات طبیعی نیاز دارد (شکل ۵).

باید اضافه کرد که تفاوت بین متغیرهای این تحقیق نزد درختان بالغ بسیار بیشتر می‌باشد (Toghraie *et al.*, 2007)، بنابراین هنگام استنتاج، سن نهال‌ها باید لحاظ شود.

## سپاسگزاری

نویسندگان از راهنمایی‌های آقای دکتر ابراهیم‌زاده معبود (از دانشکده زیست‌شناسی) و همکاری‌های صمیمانه آقای مهندس گل‌بابایی (از بخش تحقیقات چوب و کاغذ) سپاسگزارند.

## منابع مورد استفاده:

- Aguayo, M.G., Mendonça, R.T., Martínez, P., Rodríguez, R. and Pereira, M., 2012. Chemical characteristics and Kraft pulping of tension wood from *Eucalyptus globulus* labill, Revista Árvore, 36(6): 1163-1172
- Badia, M.A., Constant, T., Mothe, F. and Nepveu, G., 2006. Tension wood occurrence in three cultivars of *Populus × euramericana*. Part I: Inter-clonal and intra-tree variability of tension wood, Ann. For. Sci. 63: 23-30
- Bailleres, H., Fournier, B., Tollier, M., Monties, M. T. and Chanson B., 1995. Structure, composition chimique et retraits de maturation du bois chez les clones d'*Eucalyptus*. Ann. Sci. For. 52: 157-172
- Bamber, R. K., 2001. A general theory for the origin of growth stresses in reaction wood: How trees stay upright. IAWA Journal, 22 (3): 205-212.
- Berlyn, G. P., 1961. Factors affecting the incidence of reaction tissue in *Populus deltoides*, Iowa state J. Sci. 35 (3): 367-424.
- Chafe, S. C., 1977. Radial dislocations in the fiber wall of *Eucalyptus regnans* trees of high growth stress. Wood Sci. Technol. 11: 69-77.

## Position and the role of tension wood in trees Case study: Eucalypts

N. Toghraie

-Assistant prof., Botany Research Division. Research Institute of Forests and Rangelands. Tehran, Iran, e-mail: toghraei@rifr-ac.ir

Received: April, 2015

Accepted: Feb., 2016

### Abstract

One-year seedlings of five species of eucalypt: *E. camaldulensis*, *E. microtheca*, *E. viminalis*, *E. globulus* and *E. gunnii* were treated for 14 weeks in growth season, tilting a branch to c. 60° in every successful ones. We investigated the anatomical features of stems wood after 15 days and every 2 weeks according to IAWA list of features afterwards. The results showed that tilted stems formed more tension wood in the form of gelatinous fibers than straight (untreated) ones. The formation of gelatinous fibers was considered to be closely related to tension wood formation. Except *E. globulus*, all the other species formed growth eccentricity and tension wood. Although the significant differences in growth eccentricity between the species and between different locations in the branches was observed, there were no significant differences between the percent of tension wood among the species studied.

**Key words:** Eucalypt, wood anatomy, tension wood, normal wood, gelatinous fibers.