

## پویایی فصلی رویش شعاعی بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A. May.) (مطالعه موردی: جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه تهران، نوشهر - کلیک)

سیروس نصیری<sup>۱</sup>، کامبیز پورطهماسی<sup>۲\*</sup>، آخیم براونینگ<sup>۳</sup> و رضا اولادی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد رشته بیولوژی و آناتومی چوب، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

<sup>۲</sup> دانشیار گروه علوم صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

<sup>۳</sup> استاد گروه جغرافیا، دانشگاه فردریش الکساندر ارلانگن نورمبرگ، آلمان

<sup>۴</sup> استادیار گروه علوم صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۵/۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۲۳)

### چکیده

زمان آغاز و اتمام رویش قطری در درختان به عوامل ژنتیکی و اقلیمی وابسته است و شدت آن در طول فصل رویش تغییر می‌کند. بررسی دقیق زمان‌بندی تشکیل چوب در یک فصل رویش و پویایی آن، بر دانش ما در مورد نحوه تشکیل چوب گونه‌های مهم جنگلی چون بلوط و عوامل مؤثر بر آن می‌افزاید. در این راستا و به‌منظور درک بهتر فرایند رویش شعاعی بلندمازو (*Quercus castaneifolia*)، چهار درخت سالم و راستار واقع در جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه تهران انتخاب شد. در طی دوره رویش سال ۱۳۹۱ هر ماه با استفاده از دستگاه ریزنمونه‌بردار (تروفور) نمونه‌های چوبی برای مطالعات میکروسکوپی استخراج شدند. در آزمایشگاه، زمان آغاز و اتمام رویش و مراحل تمایز سلولی و پویایی رشد شعاعی در هر نمونه مورد بررسی میکروسکوپی قرار گرفت. پس از آن و به‌منظور ارائه روند رویش شعاعی به‌صورت روزانه از مدل موجود گومپرتز بهره گرفته شد. تقسیم سلولی در ناحیه کامبیومی در فروردین یعنی در محدوده زمانی پیش از باز شدن جوانه‌های برگ شروع شد و در شهریور به اتمام رسید. همچنین بیشینه نرخ رویش روزانه در همه درختان مورد مطالعه به صورت همزمان در اواخر خرداد و اوایل تیر با حدود ۱۷-۱۵ سلول شمارش شده در ناحیه کامبیومی تعیین شد. نتایج این تحقیق نشان داد که بخش عمده رویش شعاعی بلندمازو در حد فاصل نیمه اردیبهشت تا پایان تیرماه به انجام رسیده است. بنابراین در مطالعات اقلیم‌شناسی درختی و تغییرات اقلیم به این مهم باید توجه ویژه شود.

**واژه‌های کلیدی:** بلوط بلندمازو، تابع گومپرتز، رویش شعاعی، ناحیه کامبیومی.

## مقدمه و هدف

امروزه اطلاعاتی که از درختان یک توده جنگلی به دست می‌آیند بیشتر برای یافتن رابطه‌های بیولوژی بین مشخصه‌های مختلف یک توده یا عوامل خارجی اثرگذار بر توده، استفاده می‌شوند. از این رو با دو دسته پژوهش مواجه خواهیم بود: ۱- مطالعه در یک مقطع زمانی که در آن درخت یا جنگل به صورت ایستا<sup>۱</sup> در نظر گرفته می‌شود؛ ۲- با در نظر گرفتن رویش توده جنگلی یا درخت به صورت پویا<sup>۲</sup>، چگونگی تکامل آن را را تعیین یا حتی برای آینده پیش‌بینی می‌کنند (نمیرانیان، ۱۳۸۹). رویش شعاعی درختان از جمله فعالیت‌های پویایی است که در طول فصل رویش اتفاق می‌افتد. با این حال ماحصل آن حلقه رشد درخت و میزان رشد قطری است که می‌توان در پایان فصل رویش با مته رویش سنج به طور ایستا مطالعه کرد. اما مطالعه پویایی آن به ما این امکان را می‌دهد تا روند این شکل‌گیری را درک کرده و تاریخ‌های حساس درون فصل رویش برای گونه خاصی را تعیین کنیم. تاکنون پژوهش‌های زیادی در مورد مطالعه روند پویایی کامبیوم که به رویش شعاعی منجر می‌شود در جهان به ثبت رسیده است که از این میان می‌توان به موارد زیر در مورد گونه‌های سوزنی‌برگ (Deslauriers et al., 2003; Rossi et al., 2006a; 2008; Gricar, 2007; De Luis et al., 2007; Makinen et al., 2008; Saderi et al., 2013) و در مورد گونه‌های پهن‌برگ (Marion et al., 2007; Van der werf et al., 2007; Cufar et al., 2011; Sass-Klassen, 2011; Oladi and Pourtahmasi, 2012) اشاره کرد.

در این میان رشد قطری در درختان بخش روزنه‌ای همچون بلوط که نتیجه فعالیت سلول‌های ناحیه کامبیومی است و متعاقب آن میزان پهنای حلقه‌های رویش سالانه، تعداد و اندازه سلول و نسبت

سلول‌های چوب آغاز به چوب پایان صرف نظر از بحث‌های ژنتیکی به شدت تحت تأثیر شرایط اقلیمی (Fonti et al., 2007) و همچنین شرایط رویشگاه (Eckstein, 2004; Tardif and Conciatori, 2006; Tradif et al., 2010) است.

گونه‌های جنس بلوط از مهم‌ترین گونه‌های درختی در عرصه‌های رویشگاهی سلسله جبال البرز هستند. در این بین درخت بلندمازو (*Quercus castaneifolia*) به سبب وسعت پراکنش (از فندقلو در استان اردبیل تا شرق استان گلستان و از نواحی ساحلی تا محدوده ۲۴۰۳ متری استان گلستان در رادکان و درازنو) از جمله گونه‌های مهم بومی جنگل‌های هیرکانی است (نادری شهاب، ۱۳۹۱)؛ البته در قسمتی از قفقاز نیز یافت می‌شود (Knapp, 1999). این درختان با توجه به دیرزیستی‌شان، برای مطالعات اقلیم‌شناسی درختی و بازسازی اقلیمی بسیار مناسبند. اما پیش از آنکه پهنای حلقه رویشی به صورت ایستا بررسی شود، باید برای درک زمان‌های موثر بر تشکیل آن پویایی شکل‌گیری حلقه‌های رشد بررسی شود. این تحقیق در نظر دارد برای اولین بار در ایران پویایی رویش شعاعی بلوط بلندمازو را ارائه کند تا محققان در حوزه مطالعات ایستا مانند گاه‌شناسی درختی و اقلیم‌شناسی درختی از آن، به منظور بررسی روابط پهنای دایره رویش با اقلیم بهره ببرند.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

تحقیق حاضر در کهنه‌ده از محدوده جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه تهران، نوشهر-کلیک در مختصات ۳۸/۶۳۰' ۵۱° درجه شرقی و ۲۸/۳۷۴' ۳۶° درجه شمالی و ۱۸۰۰ متر بالاتر از سطح دریا و از نوع جنگل آمیخته راش-بلوط هیرکانی صورت گرفت. براساس داده‌های ایستگاه هواشناسی خودکار نصب‌شده در یک کیلومتری

<sup>1</sup> Static Studies

<sup>2</sup> Dynamic Studies

بافت چوبی در حال تشکیل و حلقه رویشی سال قبل بودند. از آنجا که بافت کامبیومی بافتی زنده و بسیار حساس است، به طوری که به سرعت با از دست دادن رطوبت دچار پارگی می‌شود، ریزنمونه‌ها بلافاصله درون میکروکپسول‌هایی که روی آن تاریخ نمونه‌برداری، شماره درخت و نیز جهت نمونه گرفته شده از تنه درج شده و حاوی ماده شیمیایی FAA بودند (۱۰۰ میلی‌لیتر فرمالدهید و ۶/۵ گرم دی‌سدیم هیدروژن فسفات و چهار گرم سدیم دی‌هیدروژن فسفات در ۹۰۰ میلی-لیتر آب مقطر) قرار داده شدند (شکل ۱-ب). در آزمایشگاه، برش‌های میکروسکوپی در راستای مقطع عرضی به وسیله دستگاه میکروتوم (شکل ۱-د) از ریزنمونه‌ها تهیه شد. پیش از آن و از آنجا که کامبیوم و سلول‌های تازه مشتق شده از آن دیواره دومین نداشته و لیگنینی نشده‌اند و ممکن است در طی تهیه نمونه پاره شوند، پارافین به داخل بافت چوبی نفوذ داده شده و با پارافین قالب‌گیری شدند (شکل ۱-ج). قالب‌گیری با پارافین همچنین سبب می‌شود که نمونه دارای اندازه قابل قبولی برای مهار شدن توسط فک‌های میکروتوم باشد. بعد از اینکه نمونه‌هایی با ضخامت حدود ۱۵ میکرون به دست آمدند، به روش رنگ‌آمیزی تلفیقی، رنگ‌آمیزی شدند. محلول رنگ از ترکیب ۴۰ میلی‌گرم سافرانین و ۱۵۰ میلی‌گرم استرابلو در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک تهیه شد تا به این ترتیب ناحیه لیگنینی شده رنگ قرمز و مناطق غیرلیگنینی، آبی‌رنگ شوند. پس از آب‌گیری مقاطع توسط الکل‌های ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد و تثبیت بر روی لام، به وسیله میکروسکوپ مجهز به دوربین، عکس‌های با بزرگنمایی‌های مختلف از مقاطع گرفته شد (شکل ۱-ه).

هر نمونه در زیر میکروسکوپ مورد مطالعه سلولی قرار گرفت. پویایی فعالیت کامبیوم (زمان آغاز و اتمام فعالیت کامبیوم) و زمان‌بندی مراحل مختلف بلوغ بافت چوبی (تشکیل دیواره دومین و لیگنینی شدن) از روی نمونه‌ها بررسی شد.

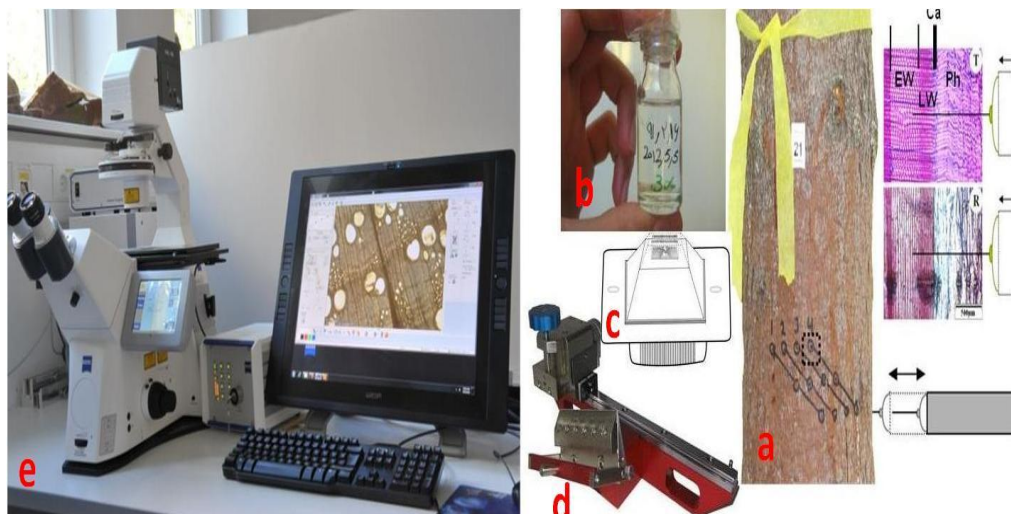
منطقه مورد بررسی، میانگین سالانه دمای هوا و خاک این منطقه به ترتیب ۱۸/۸۶ و ۲۲/۳ درجه سانتی‌گراد و مجموع بارندگی سالیانه در حدود ۱۲۰۰ میلی‌متر و رطوبت نسبی ۷۳/۴۳ درصد است (۱۳۸۹ تا ۱۳۹۱).

### روش تحقیق

از آنجا که هرچه درخت کمتر در معرض شرایطی مانند شیب زمین قرار داشته باشد الگوی رویش آن در جهات مختلف تنه، همگن‌تر خواهد بود، برای انجام تحقیق حاضر چهار درخت بلوط بلندمازو در یک توده و نزدیک به هم و از بین درختان سالم با تنه‌های استوانه‌ای و از اشکوب غالب انتخاب شدند. برای هماهنگی بهتر بین درختان قطر غالب ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر مدنظر قرار گرفت و پس از نمونه‌برداری با متد رویش‌سنج، سن آنها بین ۸۰ تا ۸۵ سال به دست آمد. با توجه به پیشینه شرایط آب‌وهوایی منطقه، نمونه‌برداری از ۱۵ فروردین تا شهریور ۱۳۹۱ به انجام رسید. هر ماه با مراجعه به منطقه و با استفاده از ابزار ریزنمونه‌بردار تروفور<sup>۱</sup> (Rossi et al, 2006b) از ارتفاع برابر سینه این درختان ریزنمونه‌ها استخراج شدند. در هر بار نمونه‌برداری از دو سمت درخت و با الگوی اریب نمونه‌ها برداشت شدند تا هر گونه عدم یکنواختی احتمالی دو سمت در میانگین داده‌ها حذف شود (شکل ۱-ا). در مجموع ۱۶ نمونه از هر درخت و در کل ۶۴ نمونه بررسی شد.

برای استخراج ریزنمونه‌ها بسته به ضخامت پوست، کمی از لایه پوست مرده بیرونی توسط مغار و چکش برداشت شد (شایان ذکر است در مورد درختان پوست-نازک همچون راش نیازی به اجرای عمل فوق نیست). ریزنمونه‌های استوانه‌ای که با استفاده از تروفور به دست آمدند، قطر دو میلی‌متر و طول حدود ۱/۵ سانتی‌متر داشته و متشکل از ناحیه بافت آبکشی، لایه کامبیومی،

<sup>1</sup>Trephor



شکل ۱- مراحل اجرایی روش ریزنمونه‌برداری. (a) نحوه صحیح ریزنمونه‌برداری توسط تروفر که به صورت اریب به منظور حفظ حداقل فاصله عرضی صورت می‌پذیرد. (b) ظرف حاوی محلول (C.FAA) ریزنمونه قالب‌گیری شده در پارافین. (d) دستگاه میکروتوم. (e) نمونه‌ای از میکروسکوپ متصل به کامپیوتر برای مطالعه و اندازه‌گیری نمونه‌ها

A: حد بالای نمودار، معرف حداکثر پهنای حلقه رویش

$\beta$ : پارامتر جایابی محور X

k: نرخ پارامتر تغییر

زمان هر نمونه‌برداری از تاریخ شمسی به ژولینی تبدیل شد. برای نمونه زمان نخستین نمونه‌برداری یعنی ۱۵ فروردین ۱۳۹۱ معادل ۹۳ تعیین شد. میزان پهنای تجمعی رویش در همین تاریخ محاسبه شد. همین عمل برای همه نمونه‌ها و تاریخ‌ها به انجام رسید. سپس با استفاده از حل معادله، ثابت‌های معادله محاسبه شدند. به این منظور از نرم‌افزار اوریجین<sup>۴</sup> بهره برده شد. بدین ترتیب ثابت‌های معادله و در نهایت تابع گومپرتز برای هر درخت و میانگینی از درختان رویشگاه محاسبه شد.

افزایش روزانه پهنای حلقه رویش در مورد هر درخت با کم کردن مقدار پهنای تجمعی حلقه رویش

از آنجا که نمونه‌های متوالی، رویش شعاعی تجمعی تا لحظه نمونه‌برداری را با خود به همراه داشتند، در هر نوبت و با استفاده از نرم‌افزار پردازش تصویری<sup>۱</sup> میزان رویش شعاعی نیز اندازه‌گیری شد. میزان رویش در هر نوبت برای هر درخت از میانگین دو سمت به دست آمد.

با توجه به اینکه نمونه‌برداری با استفاده از ریزنمونه‌برداری در بازه‌های ماهانه به انجام رسید تا آسیب چندانی به درخت وارد نشود و از سوی دیگر امکان برداشت روزانه برای این شیوه مطالعه وجود ندارد، با استفاده از تابع معروف رویش گومپرتز<sup>۲</sup> مدل رویش شعاعی این چهار درخت محاسبه شد (Ziede, 1993).

معادله این تابع به قرار زیر است:

$$f(t) = A \exp[-e^{(\beta-kt)}] \quad \text{رابطه ۱}$$

$f(t)$ : پهنای تجمعی حلقه رویش در زمان  $t$

$t$ : شماره روز ژولینی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> Image J

<sup>۲</sup> Gompertz

<sup>۳</sup> Julian day

عددی است صحیح؛ بیانگر تعداد روزهای گذرانده شده از ابتدای سال میلادی

<sup>۴</sup> Origin-pro 2010

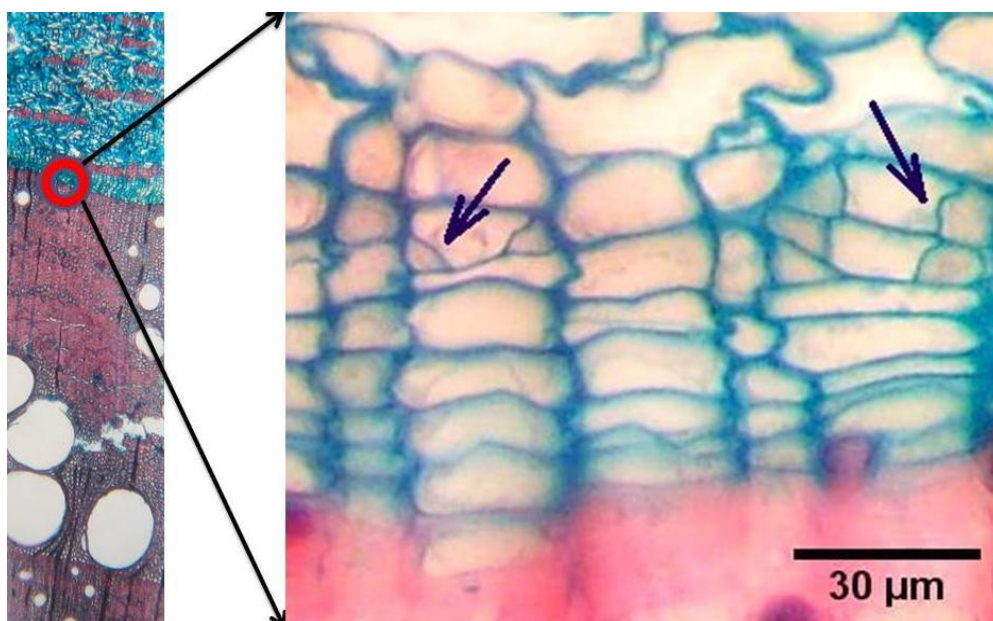
زمان اولین برداشت یعنی ۹۱/۱/۱۵ (شکل ۲)، با وجود شروع تقسیمات آنتی‌کلینالی، لایه کامبیومی با دارا بودن ۶-۷ سلول در این مقطع زمانی، همچنان در حالت خفتگی به سر می‌برد و هیچ تقسیم پری‌کلینالی در ناحیه کامبیومی هر چهار درخت دیده نمی‌شود.

یک درخت در یک روز ( $y_t$ ) از عدد متناظر آن در روز بعد ( $y_{t+1}$ ) محاسبه شد:

$$\Delta y = y_{t+1} - y_t \quad \text{رابطه ۲}$$

## نتایج

براساس نتایج به‌دست‌آمده از نمونه‌های متعلق به



شکل ۲- نمای ناحیه کامبیومی در ابتدای فصل رویش تاریخ ۹۱/۱/۱۵ - پیکان‌ها تقسیمات اولیه آنتی‌کلینال را نشان می‌دهند

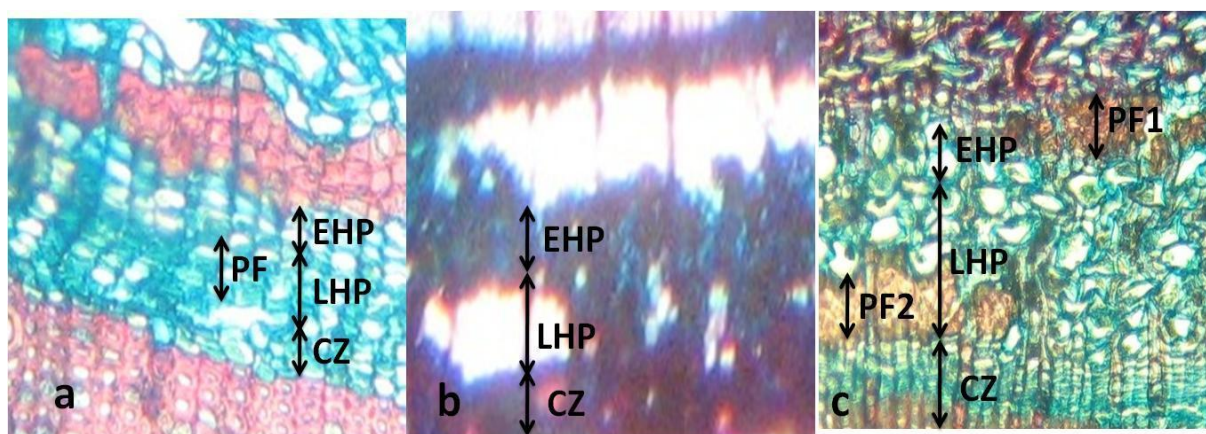
کامبیومی خاتمه یافته است. بنابراین تعداد سلول‌های این ناحیه (۱۶-۱۴ سلول) روند کاهشی را پیش گرفته‌اند، به طوری که در ۹۱/۶/۴ تعدادشان به ۸-۱۰ سلول تقلیل یافت و در نهایت در تاریخ ۹۱/۹/۶ تعداد سلول‌های ناحیه کامبیومی بلندمازو با آنچه در ابتدای فصل رویش شمارش شده بود برابر شد که این امر معرف شروع دوره خفتگی و پایان دوره رویش سالیانه در درختان بلندمازو است.

بررسی‌های میکروسکوپی صورت گرفته با نور معمولی و پلاریزه روی ناحیه آبکش در همان بازه نیز نشان داد که به سبب وجود دیواره سلولی نازک حاوی سلولز، اولین لایه‌های آبکش بهاره می‌بایست در محدوده زمانی اواخر فروردین شکل گرفته باشد

بررسی‌های صورت گرفته بر روی نمونه‌های متعلق به اردیبهشت (۹۱/۲/۱۶) حکایت از آن داشت که در جریان تقسیمات پری‌کلینالی، تعداد سلول‌ها در ناحیه کامبیومی به ۹-۱۱ عدد ارتقا یافته و این زمان مصادف است با محدوده زمانی تشکیل آوندهای فراخ ناحیه چوب آغاز گونه بلندمازو یا همان مرحله توسعه سلولی؛ بدین ترتیب با گذر زمان از ابتدای فصل رویش و مساعد شدن شرایط رشد رفته رفته به تعداد سلول‌های تولیدشده در ناحیه کامبیومی افزوده شد، تا جایی که بیشترین تعداد (۱۷-۱۵) در زمان مربوط به نمونه‌گیری سوم (۹۱/۳/۲۴) شمارش شد؛ با بررسی نمونه‌های متعلق به دوره چهارم (۹۱/۵/۱۴) نمونه‌برداری معلوم شد که دوران اوج فعالیت لایه

آن، زمان تشکیل آبکش تابستانه فرا رسید و در نهایت در اواخر شهریور تکمیل شد. شایان ذکر است، به دلیل اینکه هنوز تعریف مشخص و قابل استنادی از سلول‌های ناحیه آبکشی وجود ندارد، تشخیص مرز حلقه‌های سالیانه در این محدوده به راحتی امکان پذیر نیست. به علاوه اینکه سلول‌های ناحیه آبکش در بازه زمانی حداکثر دو سال پس از شکل‌گیریشان در عمل دچار پدیده چین‌خوردگی می‌شوند و بنابراین چنین ساختار سلولی تنها در محدوده کامبیومی و آن هم به صورت نواری باریک قابل رویت است.

(شکل ۳a) و به این ترتیب حدود دو ماه و نیم صرف شکل‌گیری محدوده آبکش بهاره شده است. انتقال از آبکش بهاره به تابستانه مصادف با ظهور فیبرهای آبکشی است. از آنجا که فیبرها دارای دیواره ضخیم ثانویه لیگنینی شده هستند تحت نور پلاریزه تالو خاصی از خود نشان می‌دهند (شکل ۳b). دسته‌های فیبری مذکور در عمل در قالب گروه‌های کوچک و به صورت باندهای منقطع مماسی با پهنای دو تا شش سلول دیده می‌شوند. توسعه و بسط این دستجات فیبری که نیازمند زمانی حدود ۳ تا ۴ هفته‌ای است، در اوایل مرداد صورت پذیرفت (شکل ۳b) و متعاقب



شکل ۳- ساختار حلقه آبکش در فصل رویشی ۱۳۹۱. (a) سلول‌های آبکش بهاره، (PF) سلول‌های آبکش در فاز تورمی و بسط و لیگنینی شدن. (b) مرز ناحیه آبکش بهاره (EHP) و تابستانه (LHP) زیر نور پلاریزه. (c) محدوده زمانی اواخر شهریور و تکمیل دوره رویش سالیانه. (PF2) فیبرهای محدوده آبکش تابستانه (PF1) فیبرهای محدوده آبکش بهاره.

### مدل پویایی رویش شعاعی

بر اساس محاسبات انجام‌گرفته با استفاده از تابع گومپرتز و داده‌های مربوط به نمونه‌های میکروسکوپی در ناحیه چوبی، مدل رویشی گونه بلندمازو به صورت زیر در طول یک فصل رویش برای هر یک از درختان و نیز میانگین چهار درخت ارائه شد (شکل ۴). مدل میانگین برازش شده به صورت زیر است:

$$f(t) = 2588 \exp[-e^{(2.94-0.0201t)}] \quad \text{رابطه ۳}$$

$f(t)$ : پهنای تجمعی حلقه رویش در زمان  $t$

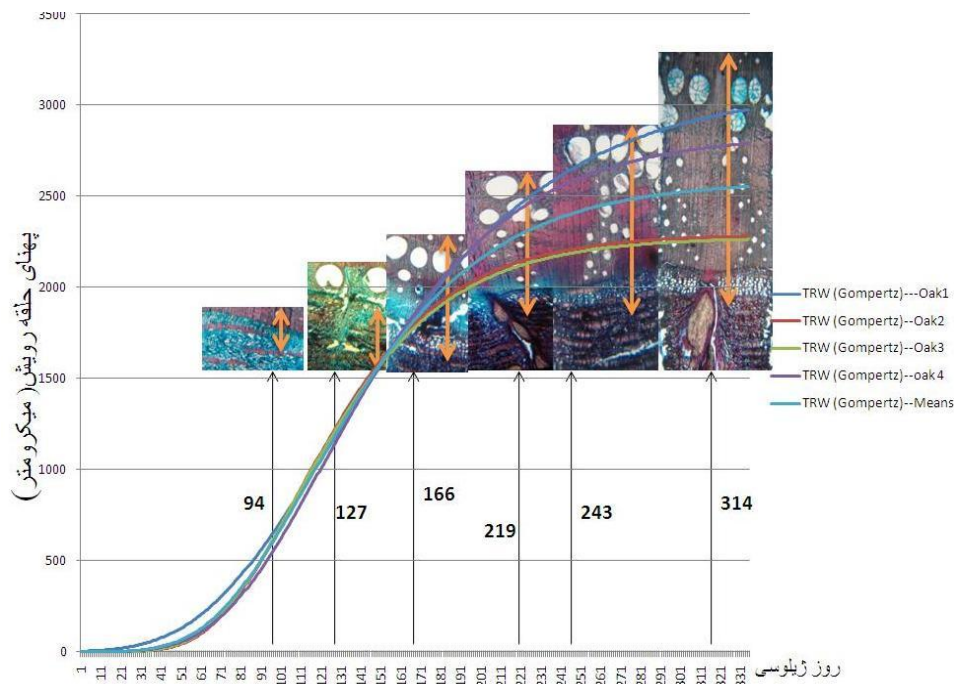
$t$ : شماره روز ژولینی

نتایج حاکی از آن است که تفاوت‌های اندکی بین رویش کل شعاعی درختان وجود دارد که از لحاظ آماری معنی‌دار نیست. بررسی میانگین رویش تجمعی چهار درخت نشان می‌دهد که بخش عمده رویش شعاعی بلندمازو در حد فاصل نیمه اردیبهشت تا پایان تیرماه به انجام رسیده است. اولین ردیف از آوندهای درشت‌چوب آغاز در نیمه اردیبهشت تشکیل یافته‌اند

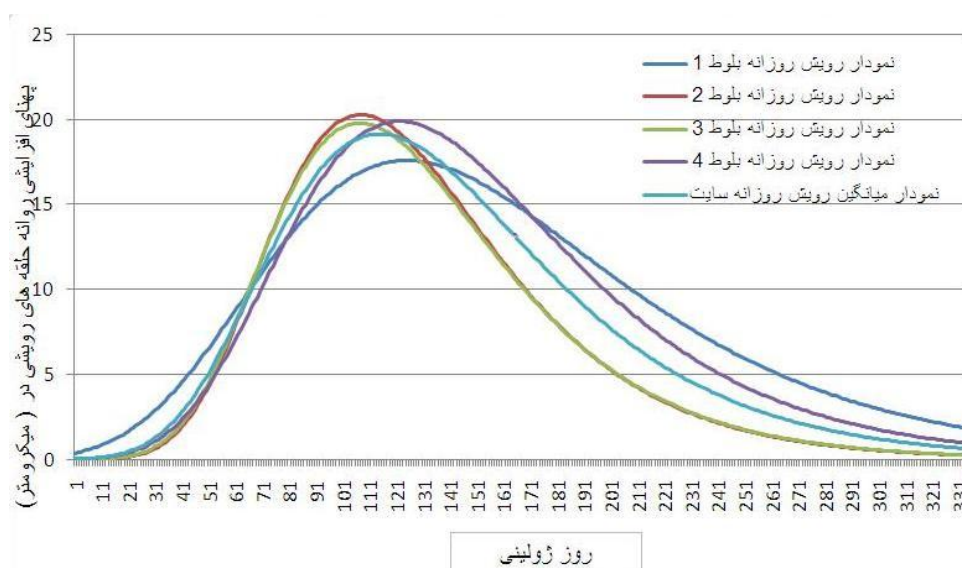
پهنای رویشی هر روز نسبت به روز قبل محاسبه شد، در شکل ۵ ملاحظه می‌شود. این روندها برای هر یک از درختان مجزا محاسبه شده و سپس میانگین‌گیری به‌عمل آمده است.

و از آن پس آوندهای بعدی با اندازه‌های کوچک‌تر شکل گرفته‌اند.

مدل رویشی روزانه این گونه که از روی مقادیر روزانه پهنای حلقه رشد و براساس تفاضل حداکثر



شکل ۴- نمایش رویش تجمعی بلندمازو در جریان دوره رویشی سال ۱۳۹۱. خطوط روند پویایی رشد در طول زمان برای هر یک از درختان و نیز میانگین را نشان می‌دهند. مقاطع میکروسکوپی همین روند را به‌صورت سلولی نشان می‌دهند.



شکل ۵- رویش شعاعی روزانه گونه بلندمازو در جریان دوره رویشی سال ۱۳۹۱ برای هر درخت و نیز میانگین درختان

می‌شود (Panshin and DeZeeuw, 1980). با این حال به سبب تاثیر مهم عوامل دیگری چون سن درخت، ارتفاع از سطح دریا، ریزاقلیم و شرایط آب‌وهوایی، نمی‌توان نتیجه صریحی از این مقایسه‌ها استخراج کرد.

در این پژوهش، الگوی رشد هر درخت به‌طور مجزا و همچنین میانگین درختان رویشگاه از مدل نمایی گومپرتز پیروی می‌کردند. این مدل با تولید افزایشی سلول‌های چوبی از اواخر فروردین تا اواخر خرداد شروع و در ادامه به روندی کاهشی تبدیل شده و در نهایت در اواخر شهریور متوقف شد. تولید سریع و فزاینده سلول‌های چوبی پس از آغاز فعالیت کامبیوم در همه گونه‌های چوبی (اعم از پهن‌برگ و سوزنی‌برگ) گزارش شده است (Deslauriers *et al.*, 2003; De Luis *et al.*, 2007; Oladi *et al.*, 2012; Saderi *et al.*, 2013). با این حال این مسئله در گونه‌های پهن‌برگ بخش روزنه‌ای چون بلوط اهمیت بیشتری دارد، چراکه در این درختان وظیفه رساندن آب و مواد غذایی از ریشه به تاج اغلب برعهده آوندهای تازه تشکیل شده آخرین حلقه رویشی است (Kramer and Boyer, 1995). به همین دلیل، همان‌گونه که در این پژوهش دیده شد، آوندهای درشت‌چوب آغاز به سرعت تشکیل شده و زودتر از بقیه سلول‌ها لیگنینی می‌شوند تا بتوانند این وظیفه را به انجام برسانند. بهینه بودن شرایط آب‌وهوایی از نظر دما و بارندگی در ماه‌های نخست پس از آغاز فعالیت کامبیوم (بهار) احتمالاً دلیل دیگری است که نرخ رشد در این دوره شتاب بیشتری دارد. احتمالاً پهن‌برگان در مراحل آغازین دوره رویش با تولید سریع بافت چوبی و به‌ویژه آوندها سعی در خنثی کردن اثر احتمالی شرایط سخت آب‌وهوایی در بقیه فصل رویش دارند (Sass and Eckstein, 1995).

برای همه درختان مورد مطالعه، بیشینه نرخ رویش روزانه در اواخر خرداد و اوایل تیر محاسبه شد. به همین ترتیب، در دو پژوهش مستقل، بالاترین نرخ

با توجه به شکل ۵ بیشینه نرخ رویش روزانه در درختان مورد مطالعه اندکی با هم متفاوت بوده است، اما تقریباً در اواخر خرداد و اوایل تیر به‌وقوع پیوسته است. البته ممکن است با تغییر شرایط مساعد شروع و اتمام رشد نمودار کمی به طرفین منتقل شود.

## بحث

مطابق شکل ۲، آغاز تقسیمات پری‌کلینالی کامبیومی به احتمال قوی چند روزی بعد از نخستین نمونه‌برداری (۹۱/۱/۱۵) رخ داده است، چراکه در این تاریخ تنها تقسیمات آنتی‌کلینالی وجود داشته و سلول‌های کامبیومی به شکل متورم دیده می‌شوند و این دو ویژگی نشانه‌ای از قریب‌الوقوع بودن تقسیمات پری‌کلینالی است (Frankenstein *et al.*, 2005). با آنکه در نمونه‌های مربوط به آخرین دوره نمونه‌برداری (۹۱/۹/۶) خفتگی لایه کامبیومی تأیید شده، به سبب فاصله زمانی طولانی بین نمونه‌برداری این دوره و دوره قبل (۹۱/۶/۴) در عمل تعیین دقیق زمان خاتمه پویایی لایه کامبیومی امکان‌پذیر نبوده است. با این حال بیش از ۹۰ درصد حلقه رویشی در تاریخ ۹۱/۶/۴ تولید شده بود. بنابراین آغاز و اتمام فعالیت کامبیوم در این گونه را می‌توان به‌طور تقریبی به ترتیب -دهه سوم فروردین و اواخر شهریور در نظر گرفت. زمان‌بندی آغاز و اتمام فعالیت کامبیوم و رشد قطری درختان به عوامل مختلف درونی (ژنتیکی) و بیرونی (اقلیمی) وابسته است (Deslauriers *et al.*, 2003; Cufar *et al.*, 2011). پژوهش‌های صورت گرفته بر روی فعالیت کامبیوم و رویش فصلی درختان بخش روزنه‌ای چون بلوط به مراتب کمتر از پهن‌برگان پراکنده‌آوند و سوزنی‌برگان است (Gričar *et al.*, 2013). آغاز رویش قطری بلوط در شرق هلند، بین ۲۶-۹ اردیبهشت (Van der Werf *et al.*, 2007) و در حومه پاریس حدود ۱۰ فروردین گزارش شده است (Michelot *et al.*, 2012). به‌طور کلی، با کاهش عرض جغرافیایی، دما افزایش می‌یابد و دوره رویش زودتر آغاز



Cufar, K., P. Cherubini, J. Gričar, P. Prislán, S. Spina, and M. Romagnoli, 2011. Xylem and phloem formation in chestnut (*Castanea sativa mill.*), *Dendrochronologia*, 29: 127-134.

De Luis, M., J. Gričar, K. Cufar, and J. Raventos, 2007. Seasonal dynamics of wood formation in *Pinus halepensis* from dry and semi-arid ecosystems in Spain, *IWA journal*, 28: 389-404.

Deslauriers, A., H. Morin, and Y. Begin, 2003. Cellular phenology of annual ring formation of *Abies balsamea* in the Quebec boreal forest (Canada), *Canadian Journal of Forest Research*, 33: 190-200.

Eckstein, D., 2004. Change in past environments- secrets of the tree hydrosystem, *New Phytologist*, 163:1-4.

Fonti, P., N. Solomonoff, and I. Garcia-Gonzalez, 2007. Earlywood vessels of *Castanea sativa* record temperature before their formation, *New Phytologist*, 173: 562-570.

Frankenstein, C., D. Eckstein, and U. Schmitt. 2005. The onset of cambium activity - A matter of agreement? *Dendrochronologia*, 23(1): 57-62.

Gričar, J., 2007. Xylo and phloemogenesis in silver fir (*Abies alba Mill.*) and Norway spruce (*Picea abies (L.) Karst.*), Dissertation of Slovenian Forestry Institute, Ljubljana, 106 pp.

Gričar, J., 2013. Influence of temperature on cambial activity and cell differentiation in *Quercus sessiliflora* and *Acer pseudoplatanus* of different ages, *Drvna Industrija*, 64(2): 95-105.

Heinrichs, D.K., J.C. Tardif, and Y. Bergeron, 2007. Xylem production in six tree species growing on an island in the boreal forest region of western Quebec, Canada, *Canadian Journal of Botany*, 85(5): 518-525.

Knapp, H.D., 1999. Der kaspische Wald. – In: Nestler, W. (1999): Rastplatz für die windstille Skulturen und Projekte, Halle. 218 pp.

Kramer, P.J., and J.S. Boyer., 1995. Water relations of plants and soils, Academic Press, London, 495 pp.

تولید سلول در چند گونه سردسیر شامل یک پهن‌برگ و چند سوزنی‌برگ از ارتفاعات ایتالیا (Rossi et al., 2008) و کبک کانادا (Heinrichs et al., 2007) - به‌طور هم‌زمان - در حوالی انتهای فصل بهار و شروع فصل تابستان (۳۱ خرداد) دیده شد. درختان نوئل رشد یافته در جنوب فنلاند نیز از الگوی زمانی مشابهی پیروی کردند، به‌نحوی که با وجود اختلاف ۱۶ روزه در شروع تشکیل بافت چوبی بین درختان، سریع‌ترین تولید تراکتید - به‌طور هم‌زمان - در هفته دوم تیرماه رخ داد (Makinen et al., 2008). این مسئله ناشی از نقش غالب دوره نوری (فتوپریود) در تنظیم و زمان‌بندی حداکثر نرخ رویش قطری در درختان است (Rossi et al., 2006a).

در مجموع، نتایج این پژوهش که برای نخستین بار در ایران، فرایند تشکیل چوب و پویایی کامبیوم گونه بلوط را بررسی کرده در تطابق با نتایج پژوهش‌های مشابهی بوده که در مناطق سرد و مرتفع نیمکره شمالی انجام گرفته‌اند. بررسی تأثیر عوامل اقلیمی (دما، بارندگی و...) بر زمان‌بندی تشکیل چوب و همچنین مقایسه رشد شعاعی این گونه با گونه‌های دیگر همان منطقه می‌تواند به دانش ما در مورد نحوه تشکیل چوب گونه‌های مهم جنگلی و تأثیر عوامل محیطی بر آنها بیفزاید.

## سپاسگزاری

از داوران و آقای دکتر محمد عواطفی همت به‌واسطه ارائه نظرهای سودمندشان تشکر و قدردانی می‌شود.

## منابع

نادری شهاب، محبت‌علی، ۱۳۹۱. بلوط‌های ایران، انتشارات آزادپیما، ۲۷۲ ص.  
نمیرانیان، منوچهر، ۱۳۸۹. اندازه‌گیری درخت و زیست‌سنجی جنگل، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۹۷ ص.

- Mäkinen, H., J. Wook seo, P. Nöjd, U. Schmitt, and R. Jalkanen, 2008. Seasonal dynamics of wood formation: a comparison between pinning, microcoring and dendrometer measurements, *European Journal of Forest Research*, 127: 235-245.
- Marion, L., J. Gričar, and P. Oven, 2007. Wood formation in urban Norway maple trees studies by the micro-coring method, *Dendrochronologia*, 25: 97-102.
- Michelot, A., S. Simard, C. Rathgeber, E. Dufrêne, and C. Damesin, 2012. Comparing the intra-annual wood formation of three European species (*Fagus sylvatica*, *Quercus petraea* and *Pinus sylvestris*) as related to leaf phenology and non-structural carbohydrate dynamics, *Tree Physiology*, 32(8): 1033-1045.
- Oladi, R., and K. Pourtahmasi, 2012. Intra-annual Secondary Growth rate-Climate relations of *Fagus orientalis* Lipsky. in the center of hyrcanian forest, *Natural Science Biology*, 4(2): 136-140.
- Panshin, A.J., and DeZeeuw, 1980. Textbook of wood technology, 4th edition. McGraw Hill, New York, 736 pp.
- Rossi, S., A. Deslauriers, T. Anfodillo, H. Morin, A. Saracino, R. Motta, and M. Borghetti, 2006a. Conifers in cold environments dynchronize maximum growth rate of tree ring formation with day length, *New Phytologist*, 170: 301-310.
- Rossi, S., J. Gričar, T. Levanic, and P. Oven, 2008. Critical temperatures for xylogenesis in conifers of cold climates, *Global Ecology and Biogeography*, 17: 696-707.
- Rossi, S., T. Anfodillo, and R. Menardi, 2006b. Trephor: a new tool for sampling microcores from tree stems, *IWA Journal*, 27: 89-97.
- Saderi, S.M., K. Pourtahmasi, R. Oladi, and C.B.K. Rathgeber, 2013. Wood formation in *Juniperus excels ssp. polycarpus* in the high mountains of north-east Iran, *Journal of Tropical Forest Science*, 25(3): 421-428.
- Sass, U., and D. Eckstein, 1995. The variability of vessel size in beech (*Fagus sylvatica* L.) and its ecophysiological interpretation, *Trees*, 9: 247-252.
- Sass-Klaassen, U., C.R. Sabajo, and J. Den ouden, 2011. Vessel formation in relation to leaf phenology in pedunculate oak and European ash, *Dendrochronologia*, 29: 171-175.
- Tardif, J., and F. Conciatori, 2006. Influence of climate on tree rings and vessel features in red oak and white oak growing near their northern distribution limit, southwestern Quebec, Canada, *Canadian Journal of Forest Research*, 36: 2317-2330.
- Tardif, J., S. C.Kames, and Y. Bergeron, 2010. Spring water levels reconstructed from ice-scarred trees and cross sectional area of the earlywood vessels in tree rings from eastern boreal Canada. In: Stoffel, M., Bollschweiler, M., Butler, D.R., Luckman, B.H. (Eds), *Tree rings and natural Hazards; A state of art, advances in global change research*, Springer, 257-261.
- Van der werf, G.W., U. Sass-Klaassen, and G.M.J. Mohren, 2007. The impact of the 2003 summer drought on the intra-annual growth pattern of beech (*Fagus sylvatica* L.) and oak (*Quercus ruber* L.) on a dry site in the Netherlands, *Dendrochronologia*, 25: 103-112.
- Zeide, B., 1993. Analysis of growth equations, *Forest Science*, 39: 591-610.

**Seasonal dynamic of radial growth in oak (*Quercus castaneifolia* C.A. May.)  
(Case study: Educational and Forest Research of University of Tehran,  
Nowshahr-Koliak)**

**S. Nasiri<sup>1</sup>, K. Pourtahmasi<sup>2\*</sup>, A. Bräuning<sup>3</sup>, and R. Oladi<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>M. Sc., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

<sup>2</sup>Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

<sup>3</sup>Prof., Institute of Geography, University of Erlangen-Nurnberg, Germany

<sup>4</sup>Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

(Received: 28 July 2014, Accepted: 14 December 2014)

**Abstract**

The beginning and the ending of radial growth in trees depend on genetics and climatic factors and its intensity varies during a growing season. Studying wood formation dynamics in a growing season will increase our knowledge about xylogenesis of important species and the influencing parameters. For this reason and in order to have a better understanding of a radial growth in oak, four *Quercus castaneifolia* individual trees were selected in the research forest of University of Tehran located in the Hyrcanian forest. In 2012, micro-core samples were extracted from trees by Tropher in monthly intervals. Cambial cell divisions and radial growth started approximately on mid-April and terminated at the end of September. The highest number of cambium cell (15-17) and the maximum daily growth rates of all trees were achieved around Mid-June. The results of this research showed that the majority of radial growth in oak occurs from May to mid- July and this fact should be considered in dendroclimatological studies.

**Keywords:** Cambium zone, Gompertz function, *Quercus castaneifolia*, Radial growth.

---

\* Corresponding author

Tel: 09123607805

Email: pourtahmasi@ut.ac.ir

