

ارزیابی مساحت چوب برون درخت کاج سیاه (*Pinus nigra*) به روش توموگرافی امپدانس الکتریکی

چکیده

از آنجایی که حیات درخت به ناحیه چوب برون وابسته است، لذا شناسایی و اندازه‌گیری ضخامت آن در درختان سرپا، توجه متخصصین جنگل را به خود جلب کرده است؛ اما شناسایی آن در گونه‌های مختلف درختی با چالش‌های جدی و متنوع روبرو است. از این رو در تحقیق حاضر، استفاده از توموگرافی امپدانس الکتریکی برای محاسبه نسبت چوب برون به چوب درون و تغییرات مقادیر امپدانس الکتریکی آن‌ها در یکی از گونه‌های مهم سوزنی‌برگ (*Pinus nigra*) مورد مطالعه قرار گرفت. توموگرافی امپدانس الکتریکی با استفاده از ۳۲ الکتروود در دو ارتفاع ۱۴۷ و ۲۰۰ سانتی‌متری از سطح زمین و بر روی ۸ نمونه درخت در ناحیه شوپرون مجارستان انجام شد. برای تهیه توموگرام از یک جریان الکتریکی ۵ ولتی بین الکتروودها استفاده شد. یک رسیستومتر میزان امپدانس الکتریکی بین نواحی مختلف درخت را اندازه‌گیری کرد. نتایج نشان داد که ناحیه چوب برون نسبت به ناحیه چوب درون در انتقال جریان الکتریسیته، نقش بیشتری داشته و مقاومت الکتریکی در آن نسبت به درون چوب کم‌تر بوده است. در تمام توموگرام‌ها سه ناحیه رنگی با تفاوت‌های معنی‌دار در میزان امپدانس الکتریکی به وضوح قابل مشاهده بود. نواحی اطراف مغز بارنگ قرمز، بیشترین امپدانس و نواحی مجاور پوست بارنگ آبی تیره، کمترین مقاومت را در برابر جریان الکتریکی از خود نشان دادند. تفاوت ۹ درصدی در میزان رطوبت، تغییر محسوس pH (۳/۵۲ > ۳/۸۸) و اختلاف در ترکیبات شیمیایی، باعث ایجاد تمایز در دو ناحیه چوب برون و چوب درون شد، اما مقدار یون‌های پتاسیم اندازه‌گیری شده در هر دو ناحیه یکسان و تقریباً اثری بر الگوهای رنگی در توموگرام‌های حاصله نداشت. با توجه به سادگی استفاده از توموگرافی امپدانس الکتریکی، زمان کوتاه آزمایش و تخریب جزئی ساختار ماده مورد مطالعه و همچنین عدم احتیاج به قطع درخت، استفاده از این تکنیک در ارزیابی کیفی جنگل پیشنهاد می‌شود.

واژگان کلیدی: کاج سیاه، چوب برون، توموگرافی امپدانس الکتریکی.

مقدمه

امروزه توجه به کاربرد نهایی گونه‌های درختی به عنوان منابعی برای تولید خمیرکاغذ، تخته خرده چوب، تخته فیبر، روکش‌های طبیعی و حتی الوار تیمار شده با مواد شیمیایی، باعث شده تا ارزیابی، تخمین و محاسبه نسبت

چوب برون به چوب درون در درختان سرپا اهمیت ویژه‌ای پیدا کند. از طرفی در ارزیابی کیفی درختان، نسبت چوب برون به چوب درون تابعی از سن درخت محسوب می‌شود. در مطالعه‌ای بر روی گونه‌ی بلوط رابطه منحنی الخطی

ثنا لطفی^۱

محمدعلی سعادت نیا^{۲*}

محمدهادی مرادیان^۲

لادن پورسرتیپ^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی صنایع سلولزی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، ایران

^۲ استادیار گروه مهندسی صنایع سلولزی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، ایران

مسئول مکاتبات:

msaadatnia92@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۱۸

نرمال باعث شده تا گونه‌های درختی رفتارهای متفاوتی از خود نشان دهند. به‌طور مثال در تحقیقی بر روی گونه‌ی بلوط مشخص شده است که نواحی چوب درون دارای امپدانس الکتریکی پایین و غیر نرمال بوده است. تغییر در مقادیر pH و یون‌های پتاسیم و منیزیم در نواحی داخلی و اثر آن‌ها بر رسانایی الکتریکی به‌عنوان علل اصلی گزارش شده است [۵]. لذا انجام مطالعات بر روی گونه‌های مختلف و پی بردن به ویژگی‌های منحصر به فرد آن‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد. این تحقیق در نظر دارد تا با استفاده از تکنیک توموگرافی امپدانس الکتریکی بر روی گونه کاج سیاه (*Pinus nigra*)، درصد ناحیه چوب برون، ناحیه حد واسط (جایی که چوب درونی آغاز می‌شود) را در این گونه مهم صنعتی مورد مطالعه قرار داده و رفتارهای الکتریکی ناحیه چوب درون، چوب برون و ناحیه حد واسط (ناحیه‌ای که تبدیل چوب برون به چوب درونی آغاز شده است) را در توموگرام حاصله، مورد ارزیابی قرار دهد. سپس با بررسی برخی پارامترهای تأثیرگذار شیمیایی، فیزیکی و اندازه‌گیری الکترولیت‌های آزاد، الگوهای رنگی را مورد آنالیز قرار دهد.

مواد و روش‌ها

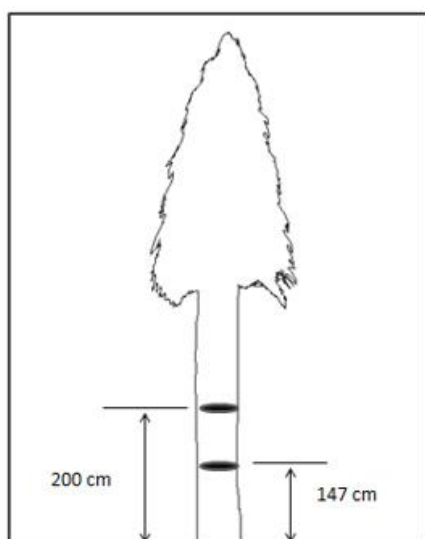
به‌منظور انجام پژوهش حاضر، تعداد ۸ درخت کاج سیاه (*Pinus nigra*) واقع در منطقه شوپرون^۳ در کشور مجارستان انتخاب و سپس در دو ارتفاع ۱۴۷ و ۲۰۰ سانتی‌متر از سطح زمین اسکن مقاطع درخت انجام شد (شکل ۱). در انتخاب درختان مورد مطالعه سعی بر آن بود تا نمونه‌هایی با قطر تقریباً یکسان، سالم و بدون معایب ظاهری مورد ارزیابی قرار گیرند. در جدول ۱ ویژگی‌های ساختاری نمونه‌های آزمونی به‌طور خلاصه آورده شده است.

مثبتی بین پهنای چوب برون و سن درخت مشاهده شده است [۱]. اهمیت تخمین چوب برون درختان سرپا برای محققین علوم جنگل نیز از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا این موضوع بر انتقال آب و املاح از ریشه به تاج و میزان تعریق درخت اثر معنی‌داری دارد [۲]. برای ارزیابی نسبت چوب برون و حتی اندازه‌گیری ضخامت آن در یک درخت سرپا می‌توان با استفاده از مته و نمونه‌برداری و سپس آنالیز آن در آزمایشگاه، وضعیت درخت را در فاصله بین پوست تا مغز مورد مطالعه قرارداد. این روش تا حدودی باعث تخریب ساختار درخت، ایجاد زخم در بدنه آن و محلی برای ورود عوامل مخرب از جمله قارچ‌ها و حشرات خواهد شد. لذا توجه به ارزیابی‌های غیر مخرب در برآورد ناحیه چوب برون مورد توجه محققین قرار گرفته است. عدم تغییر در ماهیت ماده مورد مطالعه، همچنین تجهیزات قابل حمل و استفاده آسان از این تکنیک‌ها سبب تمایز آن‌ها نسبت به سایر روش‌های ارزیابی شده است [۳]. توموگرافی امپدانس الکتریکی^۱ روش غیر مخرب رایجی است که با استفاده از ایجاد جریان الکتریکی در ماده و اندازه‌گیری مقاومت آن در برابر عبور جریان الکتریسیته، تصویری از وضعیت داخلی ماده ایجاد می‌کند. این تکنیک اولین بار توسط Just & Jacobs (۱۹۹۸) برای درختان سرپا و امروزه برای شناسایی پوسیدگی حتی در مراحل اولیه، برآورد ناحیه دل‌قرمزی راش، شناسایی خیس چوب^۲، برآورد ناحیه چوب برون و اندازه‌گیری ضخامت آن و همچنین شناسایی معایب بیولوژیکی درخت مورد استفاده قرار گرفته است [۲، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱]. برخلاف توموگرافی صوتی که اساس کار بر مبنای تغییر در ویژگی‌های مکانیکی ماده مورد مطالعه است، در توموگرافی امپدانس الکتریکی، تغییر در ساختار شیمیایی، اختلاف الکترولیت‌ها و یون‌ها در بالای نقطه اشباع و همچنین گرادیان رطوبتی زیر نقطه اشباع، باعث تغییر در میزان جریان الکتریکی عبوری در نواحی مورد مطالعه شده و آن را در توموگرام با الگوهای رنگی متفاوتی نشان داده و از این طریق با تمایز نواحی معیوب به شناسایی آن‌ها کمک می‌کند؛ اما وجود الگوهای رنگی متنوع و گاهی غیر

¹ Tomography electrical impedance

² Wet wood

³ Sopron



(ب)



(الف)

شکل ۱- الف: نمونه‌های آزمونی درخت مورد مطالعه، ب: ارتفاع مقاطع اسکن شده.

جدول ۱- ویژگی‌های نمونه‌های آزمونی.

شماره درخت	مساحت تاج (m ²)	ارتفاع مقطع (cm)	ارتفاع درخت (cm)	میانگین قطر برابرسینه (cm)	میزان انحراف درخت (درجه)
۱	۴۸/۴	۱۴۷-۲۰۰	۱۷/۷	۴۷	۲
۲	۵۲/۹	۱۴۷-۲۰۰	۱۷/۸	۶۲	۲
۳	۳۲/۹	۱۴۷-۲۰۰	۱۳/۴	۷۹	۳۶
۴	۵۶/۵	۱۴۷-۲۰۰	۱۶/۲	۶۶	۱
۵	۴۶	۱۴۷-۲۰۰	۱۳/۶	۵۸	۲۳
۶	۷۲/۲	۱۴۷-۲۰۰	۱۵/۳	۶۲	۱
۷	۷۴/۱	۱۴۷-۲۰۰	۱۴/۱	۵۴	۱۹
۸	۵۴/۷	۱۴۷-۲۰۰	۱۵	۶۲	۱۹

الکتروود، ۳۲ کابل رابط، رسیستومتر و یک برنامه کامپیوتری بود که در شکل ۲ نشان داده شده است.

برای انجام توموگرافی امپدانس الکتریکی از دستگاه مدل Geopic-32 ساخت شرکت فاکوپ (Fakopp Enterprise Bt.) استفاده شد. این دستگاه شامل ۳۲



(الف)



(ج)

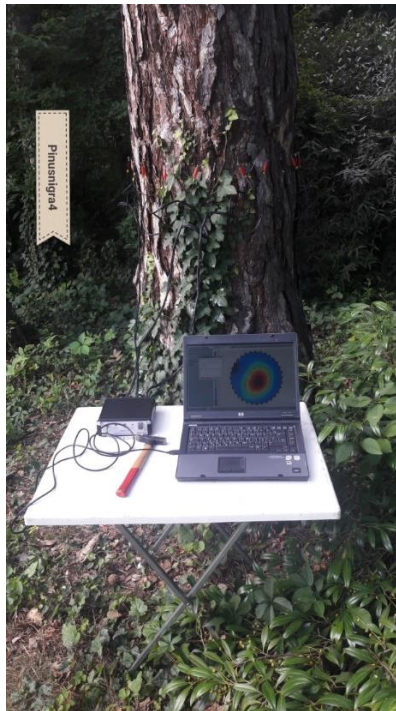


(ب)

شکل ۲- اجزا دستگاه توموگرافی امپدانس الکتریکی، الف: رسیستومتر مدل GeoPic-32، ب: کابل‌های اتصال، ج: الکترودها.

الکترودها به صورت متناوب جریان الکتریکی ۵ ولتی برقرار و مقاومت نقاط مختلف درخت در برابر جریان الکتریکی اندازه‌گیری شد (شکل ۳). مدت‌زمان موردنیاز برای اسکن یک مقطع حدوداً ۳۰ دقیقه و این کار برای هر مقطع ۳ تا ۵ بار تکرار شد تا نسبت به نتایج یکسان، اطمینان حاصل شود. در انتها به کمک نرم‌افزار ImageJ تجزیه و تحلیل نهایی تصاویر توموگرام الکتریکی انجام گرفت و مساحت چوب درون، چوب برون و ناحیه حد واسط محاسبه گردید.

به منظور تهیه توموگرام امپدانس الکتریکی در ابتدا اولین الکترود در جهت جغرافیایی شمال بر روی تنه‌ی درخت در فصل تابستان نصب شد. سپس قطر درخت اندازه‌گیری و مکان‌های مناسب برای نصب سایر الکترودها بر روی محیط درخت تعیین گردید. از نفوذ الکترودها به داخل ناحیه چوب برون اطمینان حاصل شد تا درصد خطا کاهش پیدا کند. پس از ارزیابی درست بودن موقعیت الکترودها و کابل‌های اتصال، رسیستومتر وصل و روشن شد. با اجرای برنامه طبق فرمت Wenner A، بین



شکل ۳- توموگرافی امپدانس الکتریکی اعمال شده بر یک مقطع از درخت.

برای اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی طبق استاندارد TAPPI، ابتدا آرد چوب (T257cm-85) از دو ناحیه مذکور تهیه و میزان لیگنین (T 222 om-83) اندازه‌گیری شد. همچنین اندازه‌گیری هولوسولوز به روش Weis و همکاران (۱۹۴۷) صورت گرفت. بدین منظور یک نمونه ۲ گرمی از پودر خشک چوب عاری از مواد استخراجی عبوری از الک با مش ۴۰ و باقی‌مانده بر الک با مش ۶۰ در یک ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری در حمام آبی در درجه حرارت ۸۰ درجه سلسیوس قرار گرفت و به آن ۸۰ میلی‌لیتر آب مقطر، ۰/۲۵ میلی‌لیتر استیک اسید، ۰/۷۵ گرم کلرید سدیم اضافه و درب آن بسته شد. پس از یک ساعت همان مقدار استیک اسید و کلرید سدیم اضافه و این عمل ۴ بار تکرار شد. در پایان اطراف ارلن با یخ سرد شد و محتویات آن با صافی شیشه‌ای و ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر صفر درجه و سپس ۲۵ میلی‌لیتر استون شستشو و سرانجام در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت خشک شد. درصد هلو سولوز از فرمول زیر محاسبه گردید:

$$\text{وزن هولوسولوز خشک شده} \times 100 = \frac{\text{وزن پودر عاری مواد استخراجی}}{\text{هولوسولوز}} \% \quad (2)$$

در انتها برای تفسیر نتایج (توموگرام های رنگی حاصل از اسکن مقاطع) و با توجه به عدم اجازه قطع درختان، از یک درخت قطع شده یک دیسک با ضخامت ۵ سانتی‌متر تهیه و با یک الگوی ساده از نزدیک‌ترین نواحی اطراف پوست و مغز تعداد ۲۰ نمونه مکعبی با ابعاد $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ تهیه شد. بر روی نمونه‌های آزمونی در دو ناحیه چوب برون (نزدیک پوست) و چوب درون (نزدیک مغز)، درصد رطوبت، pH، ترکیبات شیمیایی (لیگنین و هولوسولوز) و میزان یون پتاسیم به‌عنوان یک الکترولیت تأثیرگذار اندازه‌گیری شد. بدین منظور برای اندازه‌گیری رطوبت به روش وزنی، ابتدا نمونه‌ها وزن شد. سپس در داخل یک خشک‌کن در دمای 100 ± 3 درجه و به مدت ۲۴ ساعت نگهداری و پس از آن دوباره وزن و طبق فرمول ذیل رطوبت آن‌ها اندازه‌گیری شد.

$$H\% = \frac{(Wh - W0)}{W0} \times 100 \quad (1)$$

H%: درصد رطوبت نمونه

Wh: وزن مرطوب

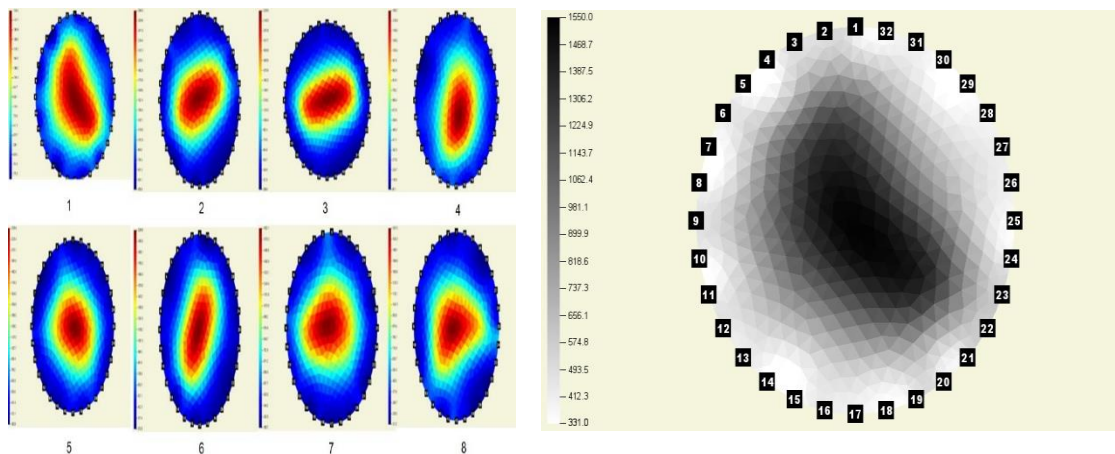
W0: وزن خشک

توزیع و مقدار اندازه‌گیری شده قرائت شد [۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵].

نتایج و بحث

نتایج حاصل از اسکن مقاطع عرضی درختان کاج سیاه نشان داد که تمام تصاویر دارای یک الگوی خاص بودند. در شکل ۴ (سمت چپ) پس از پردازش نهایی، توموگرام ۸ درخت نشان داده شده است. همان‌طور که به‌وضوح قابل‌مشاهده است، در تمام توموگرام‌ها سه ناحیه از همدیگر متمایز می‌باشند و مقاومت الکتریکی در این سه ناحیه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند.

pH هر نمونه با عبور آرد تهیه‌شده از مش ۱۵۰ و تهیه ۱۰ گرم از آن در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر با دستگاه مدل inoLab pH/Cond720 شرکت آلمانی اندازه‌گیری شد. میزان یون پتاسیم به‌عنوان یک الکترولیت مهم در ایجاد جریان الکتریکی، با استفاده از دستگاه فلیم فوتومتر مدل AFP-100 اندازه‌گیری شد. بدین منظور ابتدا ۱۰ گرم پودر خشک چوب از دو ناحیه چوب برون و چوب درون تهیه سپس با اضافه کرده ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن به مدت ۲ ساعت هم زده شد. پس از عبور محلول از کاغذ صافی و تنظیم شاخص دستگاه، محلول به دستگاه



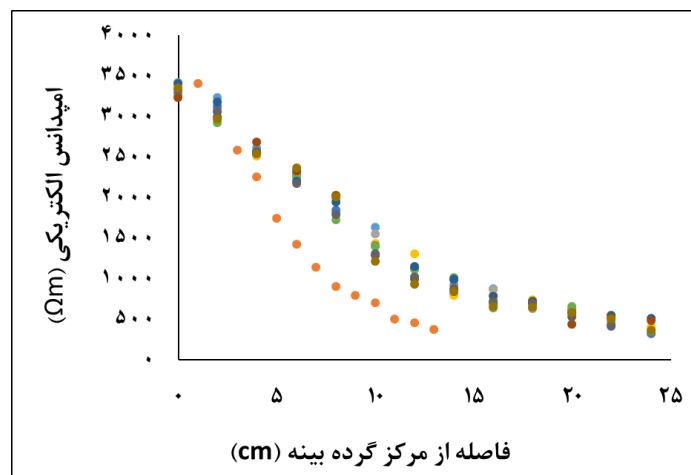
شکل ۴- توموگرام امپدانس الکتریکی مقاطع اسکن شده درختان کاج سیاه (سمت چپ). توموگرام یکی از مقاطع با الگوی سیاه‌وسفید (سمت راست).

درونی نشان داد. چنین روندی نشان از افزایش نسبی رطوبت در ناحیه دوم است. شروع چوب درونی شدن و تبدیل یک ناحیه فعال و زنده به یک ناحیه غیرفعال در این بخش محتمل است. در انتها ناحیه سوم به رنگ آبی تیره و در مجاورت پوست مشاهده شد (نوار تیره‌رنگ در شکل باینری). امپدانس الکتریکی در این ناحیه به کمترین مقدار خود یعنی 331Ω رسید که یک کاهش ۸۰ درصدی را نشان داد. این ناحیه همان بخش زنده درخت است که حیات درخت به آن بستگی دارد و به علت داشتن تراکئیدهای طولی زنده، هدایت شیره خام از ریشه به تنه و تاج، وجود مواد غذایی گلواسیدی، نشاسته و رطوبت زیاد توانسته است امپدانس الکتریکی را به‌شدت پایین آورد. در تحلیل این رفتار باید گفت مقاومت و

به‌طور مثال در توموگرام حاصل از اسکن درخت شماره ۱، ناحیه اول به رنگ قرمز با میانگین امپدانس الکتریکی 1509Ω در مرکز و اطراف مغز گرده‌بینه مشاهده شد که بیشترین مقدار امپدانس الکتریکی را داشت. این ناحیه که همخوانی زیادی با درون‌چوب درخت داشته و در شکل ۴ (سمت راست) به‌صورت ناحیه تیره‌رنگ در مرکز مقطع مشاهده می‌شود، از نظر فیزیولوژیکی زنده نبوده، بیشتر تأمین‌کننده مقاومت درخت می‌باشد و در اثر گذشت زمان و افزایش سن درخت به یک ناحیه غیرفعال تبدیل شده است. ناحیه دوم ناحیه به رنگ زرد، سبز و آبی کم‌رنگ بود. ناحیه مذکور جایی است که مقدار امپدانس الکتریکی به 964Ω رسید و یک کاهش ۴۰ درصدی را نسبت به ناحیه قرمز

الکتریکی، در ناحیه چوب درون کمی بیشتر از مقدار آن در ناحیه چوب برون بود ($0.21/42 > 0.23/51$)؛ اما مقدار هولوسولوز در ناحیه چوب برون بیشتر از مقدار هولوسولوز در منطقه چوب درون اندازه‌گیری شد ($0.73/0.8 > 0.74/50$). این مسئله به‌وضوح نشان می‌دهد که چرا امپدانس الکتریکی در نواحی داخلی و اطراف مغز بیشتر از نواحی نزدیک به پوست می‌باشد. یافته‌های این تحقیق با نتایج گزارش شده توسط Bieker & Rust (۲۰۱۰) کاملاً همخوانی دارد [۵]. روند کاهش می‌تواند میزان امپدانس الکتریکی از سمت مرکز گرده‌بینه به سمت پوست درخت در تمام مقاطع اسکن شده در ارتفاعات مختلف درخت مشاهده شد (شکل ۵). این روند نشان‌دهنده نارسایی نواحی مرکزی (بخش چوب درون) و نارسایی معنی‌دار نواحی حاشیه‌ای درخت (بخش چوب برون) در برابر جریان الکتریکی بوده به طوری که می‌توان از آن به‌عنوان شاخص ارزیابی مناسبی برای برآورد بخش زنده درخت در گونه مورد مطالعه استفاده کرد. به نظر می‌رسد کم بودن رطوبت در ناحیه مرکز عامل اصلی چنین روندی باشد.

رسانایی الکتریکی جز خصوصیات ذاتی مواد است و معمولاً با افزایش رطوبت رسانایی چوب بیشتر شده، بنابراین میزان رسانایی با رطوبت ارتباط مستقیم دارد [۱۶، ۱۷]. از آنجایی که این روش توسط اعمال جریان الکتریسیته صورت می‌گیرد، بدیهی است که چوب برون به علت داشتن رطوبت زیاد و گاهی الکترولیت‌های آزاد بیشتر، محیط مناسبی برای عبور جریان الکتریکی بوده است. لذا در این بخش از تنه‌ی درخت، رسانایی به‌شدت افزایش یافته و مقاومت چندانی در برابر جریان الکتریکی اعمالی وجود نداشته است. آزمایش‌ها نیز حاکی از آن بود که میزان رطوبت چوب درون 15.3% و چوب برون 16.2% بود و یک اختلاف 9% را نشان داد در حالی که pH اندازه‌گیری شده در ناحیه چوب برون و چوب درون به ترتیب $4/52$ و $3/88$ بود. از طرفی میزان یون پتاسیم به‌عنوان عاملی تأثیرگذار بر رسانایی الکتریکی، در ناحیه چوب برون 0.76% و مقدار 0.77% مول بر کیلوگرم برای ناحیه چوب درون ثبت شد. بررسی ترکیبات شیمیایی نیز نشان داد که درصد لیگنین به‌عنوان عاملی منفی در رسانایی



شکل ۵- تغییرات امپدانس الکتریکی در فاصله بین مغز تا پوست در درختان کاج سیاه.

مقادیر حداقلی امپدانس الکتریکی در توموگرام‌ها بارنگ آبی تیره متمایز شده بودند، نشان‌دهنده فعال بودن این بخش از درخت است. مسئله‌ای که مورد توجه متخصصین امور جنگلداری بوده و نتایج این تحقیق با آنچه Bär و همکاران (۲۰۱۹)، Lin و همکاران (۲۰۱۲) و Bieker & Rust (۲۰۱۰، ۲۰۱۰) به دست آوردند، همخوانی دارد [۴، ۲، ۱۸].

با توجه به وضعیت پراکنش امپدانس الکتریکی در مقاطع اسکن شده، توموگرام‌های حاصله در نرم‌افزار ImageJ آنالیز و درصد چوب برون هر درخت در ارتفاع ۲ متری محاسبه شد (جدول ۲).

نتایج آنالیز تصاویر نشان داد که به‌طور میانگین ۵۰ درصد مساحت سطح مقطع تمام درختان مورد مطالعه را ناحیه چوب برون تشکیل داده است. این نواحی که با

جدول ۲- محاسبه مساحت ناحیه چوب درون، چوب برون و ناحیه حد واسط.

شماره درخت	مساحت کل مقطع (cm^2)	مساحت ناحیه چوب درون (cm^2)	مساحت ناحیه حد واسط (cm^2)	مساحت ناحیه چوب برون (cm^2)	درصد ناحیه چوب برون (%)
۱	۱۸۲۰/۰۲	۳۶۴/۴۰	۶۹۸/۰۹	۷۵۷/۵۱	۴۱/۶۲
۲	۳۱۲۱/۵۱	۳۳۱/۰۷	۱۱۰۹/۶۵	۱۶۸۰/۷۷	۵۳/۸۴
۳	۴۵۴۴/۵۳	۸۶۶/۶۲	۱۳۱۷/۴۷	۲۳۶۰/۴۳	۵۱/۹۴
۴	۳۵۳۲/۰۶	۳۹۷/۲۲	۱۰۸۷/۵۴	۲۰۴۶/۳۰	۵۷/۹۳
۵	۲۴۱۷/۰۸	۲۳۸/۰۷	۸۲۴/۲۵	۱۳۵۴/۷۵	۵۶/۰۴
۶	۲۵۶۲/۳۶	۳۸۵/۰۳	۸۱۰/۰۸	۱۴۵۷/۲۵	۵۴/۹۴
۷	۲۲۹۷/۳۸	۳۴۹/۰۵	۷۵۵/۸۶	۱۱۹۲/۴۶	۵۱/۹۰
۸	۳۰۲۸/۳۹	۴۶۳/۰۴	۷۹۴/۷۲	۱۷۷۰/۶۱	۵۸/۴۶

نتیجه گیری

الکتریکی در نواحی مذکور در توموگرام الکتریکی به احتمال قوی به علت اختلاف در میزان رطوبت به عنوان عامل اصلی، تفاوت معنی دار در میزان pH و همچنین تغییر در درصد ترکیبات شیمیایی، در چوب برون و چوب درون بود و این امر احتمالاً باعث ایجاد نوسان در مقاومت الکتریکی در این دو ناحیه شده است.

با توجه به یافته‌های تحقیق، تکنیک توموگرافی امپدانس الکتریکی در شناسایی و متمایز ساختن چوب برون و محاسبه‌ی وسعت آن در مقطع درخت کاج سیاه موفق عمل کرده است. لذا امکان جایگزینی این تکنیک که سلامت درختان را به خطر نمی‌اندازد، با سایر روش‌های ارزیابی مخرب وجود دارد. منشأ تفاوت امپدانس

منابع

- [1] Yang, K.C., and Hazenberg, G., 2007. Relationship between tree age and sapwood/Heartwood width in *Populus Tremuloides* Michx. Wood and Fiber Science. 23: 2. 247-252.
- [2] Lin, C.J., Chung, C.H., Yang, T.H., and Lin, F.C., 2012. Detection of electric resistivity tomography and evaluation of the sapwood-heartwood demarcation in three Asia Gymnosperm species. Silva Fennica. 46: 3. 415-424.
- [3] Kazemi-najafi, S., 2016. Nondestructive evaluation of standing trees, Tarbiat Modares Univ. press. 436p. (In Persian).
- [4] Bieker, D., and Rust, S., 2010. Non-destructive estimation of sapwood and heartwood width in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Silva Fennica. 44: 2. 267-273.
- [5] Bieker, D., and Rust, S., 2010. Electric resistivity tomography shows radial variation of electrolytes in *Quercus robur*, Canadian J. of Forest Research. 40: 6. 1189-1193.
- [6] Goncz, B., Divos, F., and Bejo, L., 2017. Detecting the presence of red heart in beech (*Fagus sylvatica*) using electrical voltage and resistance measurements, European J. of Wood and Wood Products. 76: 2. 679-686.
- [7] Guyot, A., Ostergaard, K.T., Lenkopane, M., Fan, J., and Lockington, D.A., 2013. Using electrical resistivity tomography to differentiate sapwood from heartwood: application to conifers. Tree physiology. 33: 2. 187-194.

- [8] Soge, A.O., Popoola, O. I., and Adetoyinbo, A.A., 2019. A four-point electrical resistivity method for detecting wood decay and hollows in living trees. *European J. of Wood and Wood Products*.77: 3. 465-474.
- [9] Wang, H., Guan, H., Guyot, A., Simmons, C.T., & Lockington, D.A., 2016. Quantifying sapwood width for three Australian native species using electrical resistivity tomography. *Ecohydrology*. 9: 1. 83-92.
- [10] Weihs, U., 2001. Farbkerndiagnose am stehenden Elsbeerenstamm. *AFZ.Der Wald*, 6, 268-270.
- [11] Yang, K.C., and Hazenberg, G., 2007. Relationship between tree age and sapwood. Heartwood width in *Populus Tremuloides Michx.* *Wood and Fiber Science*. 23: 2. 247-252.
- [12] Standard test methods for sampling and preparing wood for analysis. 1988. Tappi Test Method T 257 cm-5.
- [13] Standard test methods for acid-insoluble lignin in wood and pulp. 1983. Tappi Test Method T 222 om-3.
- [14] Weis, L.E., Murphy, M., and Addiec, A.A.D., 1946. Cholorite holocelullose; its fraction and bearing on summative and analysis and on the studies on the hemicellulose. *Paper Trade Journal*. 122:35-43.
- [15] Hald, Pauline M., 1947. The flame photometer for the measurement of sodium and potassium in biological materials. *Journal of Biological Chemistry*. 167: 499-510.
- [16] Quesada-Pineda, H., Wiedenbeck, J., and Bond, B., 2016. Analysis of electricity consumption: a study in the wood products industry. *Energy Efficiency*. 9: 5. 1193-1206.
- [17] Simons, P., and Levy, J., 1998. Electrical properties of wood determination of ionic transference numbers and electroosmotic water flow in *Pinus sylvestris* L. (Scots pine). *J. of the Chemical Society, Faraday Transactions*. 94: 2. 223-226.
- [18] Bär, A., Hamacher, M., Ganthaler, A., Losso, A., and Mayr, S., 2019. Electrical resistivity tomography: patterns in *Betula pendula*, *Fagus sylvatica*, *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *Tree physiology*. 39: 7. 1262-1271.

Determination of sapwood area in *Pinus nigra* by electrical impedance tomography

Abstract

Since the life of a tree strongly depends on sapwood area activity, the detection and thickness measurement of sapwood area in living trees are important for forest scientists. However, determination of sapwood zones has various challenges in different species. In this research, the electrical impedance tomography was applied to calculate sapwood-heartwood ratio and electrical impedance variations in the given area in one of the most important softwood species (*Pinus nigra*). A GeoPic-32 multielectrode resistivity meter with some modifications, was used to measure electric impedance distribution in two heights of 147 and 200 cm of 8 pine tree cross sections in Sopron of Hungary. For providing tomograms, a 5 voltage electrical current was conducted among installed electrodes. The impedance value maps on the studied cross sections were also measured by a resistometer device. The tomography map showed that the role of sapwood area for electricity conductivity, compared with heartwood, was more pronounced. For all achieved tomograms, three zones with different colored pattern were detected. The red colored parts surrounding pith area had the highest values while the minimum resistivity values with the dark blue color, were recorded for area near the bark. 9 percentage difference in moisture content between sapwood and heartwood, pH variation (4.52>3.88) and consequently different quantities in chemical components affected electrical properties distribution in cross section of trees. But potassium content had no pronounced effect on tomogram patterns obtained. Finally, this technique is suggested to evaluate trees in forest because of facility, shortening of time, and minor destruction as well as no necessity to cut the tree.

Keywords: *Pinus nigra*, Sapwood, Electrical impedance tomography.

S. Lotfi¹
M. A. Saadatnia^{2*}
M. H. Moradian²
L. Poursartip²

¹ MSc student, Dept. of Cellulose Technology Engineering, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

² Assistant Prof., Dept. of Cellulose Technology Engineering, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

Corresponding author:
msaadatnia92@gmail.com

Received: 2020/07/27
Accepted: 2020/10/09