

توسعه فناوری توموگرافی درخت سرپا (مطالعه موردی: درختان شهرستان کرج)

مهران روح‌نیا^{۱*}، احمد جهان‌لتیاری^۲، بهزاد بهنام^۳، جمشید زرین‌مهر^۴، مصطفی کهن‌ترابی^۵،
نگین منوچهری^۶ و آژنگ تاجدینی^۷

*۱- نویسنده مسئول، استاد، گروه علوم صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، ایران

پست الکترونیک: mehran.roohnia@kiau.ac.ir

۲- استاد، گروه علوم صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، ایران

۳- عضو هیئت علمی گروه مهندسی برق، دانشکده فنی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، ایران

۴- کارمند دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، ایران

۵- دانشجوی دکتری تخصصی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، گروه مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ، تهران، ایران

۶- همکار مدعو دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، ایران

۷- دانشیار، گروه علوم صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، ایران

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۶

چکیده

در این مطالعه، قابلیت فناوری توموگرافی آکوستیکی برای تعیین توان ایستایی درختان سرپای شهری در مقابل نیروهای وارده طبیعی مانند باد و طوفان بررسی شده است. ابتدا مؤلفه‌های دو حسگر داخلی و اروپایی شامل زمان عبور و سرعت در مسیرهای شعاعی تا مماسی و طولی درخت و تصویر توموگرام آنها مقایسه شد. سپس با بازرسی چشمی علائم آسیب و پوسیدگی طوقه درختان رصد و وضعیت طوقه درخت با دستگاه توموگرافی پایش گردید. مقایسه حسگر داخلی و اروپایی، کیفیت و دقت مشابهی را نشان داد. در بررسی ۱۰۳ پایه درخت سرپا، تعداد ۹ اصله از ۲۳ درختی که هیچ‌گونه علائم آسیب ظاهری را در طوقه نداشتند، در توموگرافی حاوی مقادیر معنابهی پوسیدگی مخفی بودند. از سویی تعداد نزدیک به ۱۰ اصله از ۵۳ درختی که ظاهر طوقه پوسیده داشتند، تصاویر توموگرافی عمدتاً سالم و بدون آسیب نشان دادند. از این‌رو نتیجه گرفته می‌شود که بازرسی چشمی درختان شهری برای حفظ یا قطع درختان شهری کافی نبوده و روش‌هایی مانند توموگرافی آکوستیکی که معایب مخفی را آشکار می‌سازند باید در دستورکار ارزیابی‌ها قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آسیب، توموگرافی، درخت، سرعت صوت، طوقه، چوب

مقدمه

هستند ولی به دلیل مجاورت مردم و مایملک آنها با درختان سنگین و عظیم‌الجثه و وجود احتمالی معایب تضعیف‌کننده مقاومت آنها در مقابل نیروهای وارده، مواجه

در یک جامعه شهری، درختان سرمایه‌های ارزشمندی با فواید اقتصادی، اجتماعی، اکولوژیکی و زیباسازی

سرعت صوت در نمونه های کوچک چوب توسعه داده شد. نتایج حاصل از سیستم برای دقت و سازگاری و حساسیت بر روی نمونه های چوبی تحت تأثیر عیوب مختلف با ابعاد مختلف بسیار رضایت بخش بود.

Laurence و همکاران (۱۹۹۹) به بررسی بافت پوسیده در درختان دو گونه اکالیپتوس و ملج با استفاده از دو روش رزیستوگراف و مته زنی پرداختند. آنان دریافتند روش نوین استفاده از رزیستوگراف دقت و سرعت بالاتری نسبت به روش قدیمی تر مته زنی دارد. Rust (۲۰۰۰) با استفاده از روش توموگرافی بر پایه اندازه گیری سرعت امواج به ارزیابی درختان سرپا پرداخت. در این روش، حسگرها، به درختان توسط پین هایی متصل شده و امواج منتقل شده را مورد مطالعه قرار می دهد. نتایج آزمایش نشان دهنده شاخص های خوبی از کیفیت درختان برای تولید گرده بینه های سالم می باشد.

Booker و همکاران (۲۰۰۰) برآوردی از ابزارها برای اندازه گیری سرعت صوت و سختی گرده بینه سبز کاج رادیاتا انجام دادند. سرعت صوت در ۸۵ بینه از کاج رادیاتا با چندین ابزار و تکنیک مختلف (Metriguard, FAKOPP و Silva Test) اندازه گیری شده است. نتایج نشان داد که بین این ابزارها، برند تجاری FAKOPP نمایش بهتری داشته است. همچنین سرعت صوت به وسیله ضربه زدن در یک انتها و ثبت امواج در انتهای دیگر انجام شده است.

Divos (۲۰۰۲) از روش پرتونگاری بر پایه موج تنش برای ارزیابی ویژگی های درخت سرپا استفاده کرد. ارزیابی و تعیین اندازه پوسیدگی ریشه از گام های مهم در ارزیابی درخت سرپا می باشد که با بررسی سرعت موج تنش در این ناحیه می تواند انجام شود.

Liu و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از آزمون غیر مخرب فراصوت به ارزیابی سختی در درختان سرپا پرداختند. Carter و همکاران (۲۰۰۶) مطالعه ای در زمینه انجام آزمون غیرمخرب در گرده بینه ها و درختان سرپا، با

با شکستن و افتادن درختان و شاخه های آنها بر روی عابران، ساختمان ها و ... خواهیم بود که بعضاً خسارتهای جبران ناپذیری به وجود آمده و مدیریت شهری را با چالش مواجه می کند. از این رو جوامع همواره در جستجوی روش های پیش بینی احتمال شکسته شدن درختان سرپای شهری می باشند.

علم تجزیه و تحلیل پایداری درخت سرپا برای شناسایی میزان سلامت ساختاری و یا پیش بینی قابلیت شکستن و افتادن درخت، از اصول بیولوژیکی و مهندسی بهره می گیرد. در چنین تجزیه و تحلیلی، مهندسان صنعت چوب و درخت شناسان، اغلب با آسیب های ساختمانی خاصی (پوسیدگی، ترک، کرم خوردگی) مواجه هستند که اکثراً در تنه درخت مخفی بوده و از نظرها پنهان می باشند. گرچه بازرسی چشمی که از دیرباز برای ارزیابی درختان انجام می شده، امری ضروری به نظر برسد ولی این نوع بازرسی متأسفانه اطلاعات درست و کاملی که شرایط و پایداری درخت را تعیین کند، ارائه نمی دهد (Wang et al., 2007). از این رو انجام بازرسی چشمی به تنهایی کافی نبوده است.

نگرانی های تأمین ایمنی عمومی خیابان ها و محله ها، عابران و اموال مردم حفظ درختان سرپای شهری و مدیریت بهینه آنها استفاده کاربردی از فناوری های تشخیصی دقیق برای ردیابی پوسیدگی ها و سایر آسیب های ساختاری درختان، به ویژه استحکام آنها ضروری شده است. بنابراین در این زمینه تحقیقات قابل توجهی انجام شده است.

Ross و همکاران (۱۹۹۷) با استفاده از روش موج تنش و طبق برآوردهای غیر مخرب بر روی ۱۹۳ گرده بینه بالزام فر و نوئل شرقی که برای تبدیل به الوار آماده می شدند، توانستند ارتباط مشخصی بین مدول الاستیسیته گرده بینه و الوارهای تبدیلی به دست بیاورند. Dolwin و همکاران (۱۹۹۹) با توسعه و استفاده از روش موج تنش توانستند حضور عیب در چوب را بررسی کنند. یک سیستم آزمایشگاهی برای اندازه گیری

شناسایی عیوب پنهان درختان سرپا مورد استفاده قرار گیرد.

از این رو هدف این مطالعه، ارزیابی عیوب و ایستایی درختان سرپا، نیازهای زیست بوم شهرستان کرج به عنوان الگویی از زیست بوم ایران با استفاده از روش توموگرافی آکوستیکی بوده است.

مواد و روش‌ها

مواد

با تبادل نظر با سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهرداری کرج، تعداد ۱۰۳ اصله درخت شامل پایه‌های به‌ظاهر سالم یا مشکوک با تمرکز بر سلامت طوقه (ارتفاع صفر تا نیم متر تنه) انتخاب و هرگونه علائم آسیب ظاهری در کل درخت که می‌تواند به طوقه مربوط شود، مشاهده شد.

روش کار

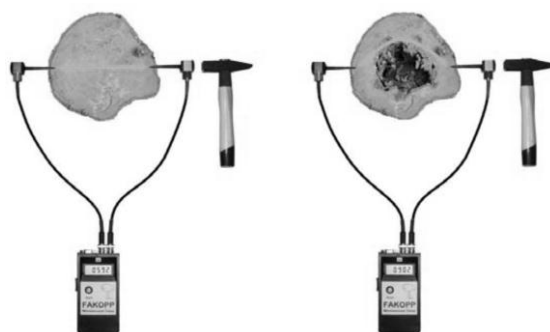
از اندازه‌گیری زمان حرکت امواج مافوق صوت در چوب برای تشخیص پوسیدگی استفاده شده است. در این روش، با استفاده از ضربه زدن مکانیکی به یک حسگر (حسگر) پیزوالکتریک، یک سیگنال آکوستیکی ایجاد شده و این سیگنال پس از طی مسیر، در داخل چوب به حسگرهای پیزوالکتریک دیگر که نقش گیرنده دارند انتقال پیدا می‌کند. از مدهای ارتعاشی در محدوده مافوق صوت برای شناسایی توسط حسگرها استفاده شده و سیستم تنظیم می‌شود. سرعت صوت با توجه به دانسیته (نوع چوب و مقدار پوسیدگی داخل آن) تغییر می‌کند (Divos and Szalai, 2002) (شکل ۱). با اندازه‌گیری دقیق زمان‌های طی شده و انجام پردازش لازم بر روی آن می‌توان مقدار و محل پوسیدگی را در درون چوب مشخص کرد (Wang et al., 2007) (شکل ۲).

استفاده از ابزارآلات آکوستیک و نتایج کاربردی آن انجام دادند. Grabianowski و همکاران (۲۰۰۶) از موج تنش برای ارزیابی درخت کاج رادیاتا قبل و بعد از استحصال استفاده کرده‌اند. نتایج نشان داد که سن درخت در سختی چوب این گونه اثری معنی دار دارد. ضمن اینکه نتایج حکایت از همبستگی خوب بین خواص مکانیکی درختان در حالت سرپا (پیش از استحصال) و حالت قطع شده آنها داشته و امکان تخمین خواص مکانیکی این گونه پیش از استحصال وجود دارد.

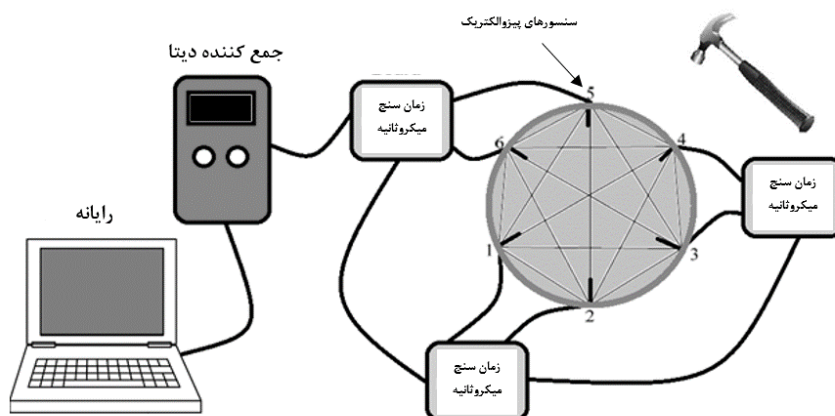
Ross (۲۰۰۷) از روش موج تنش برای بررسی خصوصیات مکانیکی درختان سرپا استفاده کرد. هدف این تحقیق بررسی کارایی روش موج تنش برای اندازه‌گیری خصوصیات درختان سرپای نئول بود. با استفاده از این روش خواص مقاومتی این درختان با دقت بالایی برآورد شد و نتایج نشان داد که با به‌کار بردن روش موج تنش می‌توان نتایج بسیار دقیق در مورد خواص مکانیکی درختان سرپا به‌دست آورد. Roohnia و همکاران (۲۰۰۷، ۲۰۱۰، ۲۰۱۱، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵) از سیستم آزمون غیرمخرب چوب برای شناسایی معایب چوب از جمله ترک و حفره استفاده کرده‌اند.

Dashevskii و Tailakov (۲۰۰۹) با استفاده از روش توموگرافی الکتریکی به تعیین ضریب ناهمسانگردی الکتریکی تعدادی از گونه‌های درختی در حالت سرپا پرداختند. نتایج حکایت از آن داشت که ضریب مذکور مستقل از مقاومت و سختی چوب می‌باشد. Ahmad و همکاران (۲۰۱۲) به ارزیابی درختان گونه *Aquilaria malaccensis* در حالت سرپا با استفاده از روش فراصوت پرداختند و قادر به شناسایی پوسیدگی‌های داخلی با استفاده از امواج فراصوت در دامنه ۵۴ kHz شدند.

نتایج تحقیقات نشان داده است که اندازه‌گیری سرعت امواج به عنوان معیار اندازه‌گیری مدول الاستیسیته برای کیفیت چوب توانسته است به عنوان روشی مؤثر برای



شکل ۱- مسافت قابل طی شدن و زمان عبور صوت در تنه درخت سالم (چپ) و پوسیده (راست)



شکل ۲- نمایش روش اندازه گیری سرعت در مسیرهای مختلف عبور صوت (مثلاً از تقسیم فاصله بردار ۱ به ۵ بر زمان عبور صدا از سنسور ۱ به ۵، سرعت در مسیر ۱ به ۵ محاسبه می شود)

برای مقایسه با دستگاه مرجع اروپایی (FAKOPP)، تمام هشت حسگر دستگاه ساخته شده به فواصل مشخص روی تیر چوبی نصب و زمان عبور صوت در تمام حسگرها طی ضربات تحریک روی تمام حسگرها ثبت گردید (شکل ۳). سپس حسگرهای دستگاه داخلی به حسگرهای دستگاه مرجع جایگزین و سایر متعلقات دستگاه مرجع (زمان سنج میکروناپیه و برد بلوتوث) نیز به حسگرها متصل شد. روی نمودار ابر نقاط، زمان عبور صوت در شرایط مختلف رسم و مقایسه شدند.

پس از حصول اطمینان از تشابه نتایج زمان عبور، با نصب حسگرها روی یک تنه درخت توخالی از پیش تهیه شده و همچنین تعدادی از درختان سرپای منتخب شهرداری محترم کرج، تصاویر توموگرام به دست آمده از دستگاه داخلی

با توجه به محدودیت‌های موجود و ضرورت توسعه فناوری توموگرافی بومی، اقدام به ساخت دستگاه مورد نیاز شده است.

کالیبراسیون و مقایسه با دستگاه مرجع

برای کالیبراسیون، تیر چوبی استاندارد با مشخصات معلوم انتخاب و دو حسگر با فاصله‌ای دقیق روی آن نصب گردید. در این حالت، یکی از حسگرها فرستنده و دیگری گیرنده در نظر گرفته می‌شود. با جابجا کردن حسگر گیرنده و فرستنده، ۳ مرحله تکرار می‌شود. در صورتی که زمان‌های مشاهده شده تقریباً یکسان و برابر زمان محاسبه شده تئوری باشد آزمون کالیبراسیون خاتمه و در غیر این صورت ضرب کالیبراسیون مناسب به برنامه میکرو کنترلر اضافه می‌گردد.

$$۵۶ \times ۲ \times ۴ = ۴۴۸$$

آزمون توأم تکرارپذیری با آزمون قابلیت تکثیر دستگاه (استفاده همزمان از ۴ دستگاه میکروکرونومتر متصل شده به ۸ حسگر میخی شکل پیزو الکتریک) بر انجام ۴۴۸ بار آزمون استوار است.

با دستگاه مرجع مورد مقایسه تصویری نیز قرار گرفت. در ۵۶ مسیر با فواصل متفاوت در جهت‌های طولی، شعاعی و مماسی و بینایی نمونه‌های متفاوت چوب در مسیرهای رفت و برگشت (که در اینجا مسیر حسگر i به حسگر j و مسیر برعکس از j به i معرفی می‌شوند)، با ۴ بار تکرار آزمون زمان عبور پالس آکوستیکی انجام شد. یعنی:



شکل ۳- آزمون همزمان دستگاه داخلی با دستگاه اروپایی، روی قطعه چوب طولی (تصویر راست) و تنه بریده درخت (تصویر چپ)

پوسیدگی، شانکر و پوست افتادگی‌ها، شکاف‌ها، شاخه‌ها و تنه مرده و خشک‌شدگی و سایر علائمی در کل درخت که نشان‌دهنده وجود آسیب در طوقه درخت باشد مورد توجه قرار گرفت (Kazeminajafi, 2016). درختان مورد آزمون بر اساس آسیب‌های ظاهری طوقه به سه گروه مطابق جدول زیر طبقه‌بندی شدند.

صحت و دقت دستگاه مرجع قبلاً طی انتشارات معتبر علمی گواهی و منتشر شده است (Huang and Floyd, 2013). برای آزمون درختان منتخب، ابتدا تعداد ۱۰۳ اصله درخت شامل پایه‌های به‌ظاهر سالم و یا مشکوک انتخاب و با تمرکز بر سلامت طوقه مورد بازرسی چشمی قرار گرفتند. در بازرسی چشمی علائم بیماری شامل شکستگی،

جدول ۱- طبقه‌بندی درختان مورد آزمون

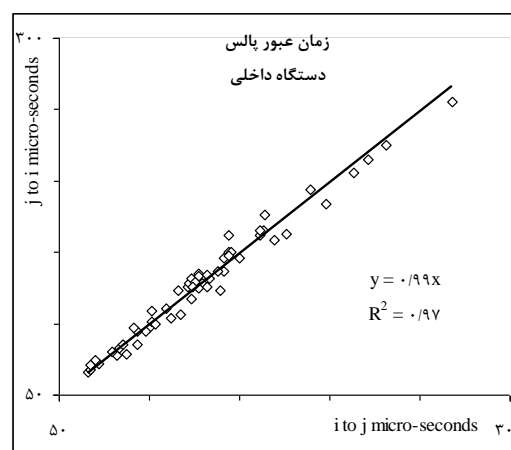
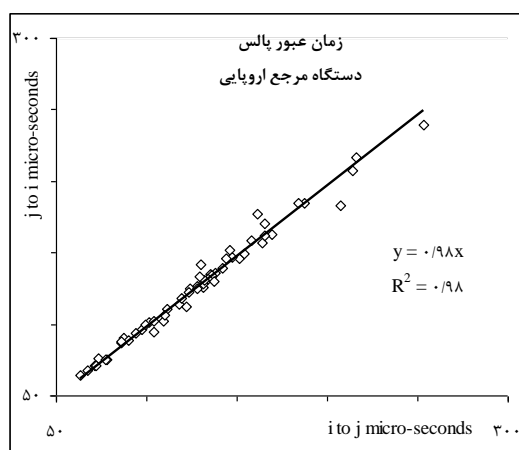
کد	معایب ظاهری طوقه	تعداد درخت
۱	بدون رخنمون آسیب	۲۳
۲	دارای رخنمون آسیب کم تا متوسط	۲۷
۳	با ظاهر به‌شدت آسیب‌دیده	۵۳

مورد این آزمون، می‌توانند اعدادی از ۱ تا ۸ باشند. مقایسه مندرج در شکل ۴ نشان می‌دهد که هر دو دستگاه داخلی و اروپایی در مسیر رفت و برگشت برآورد زمان عبور پالس برابر و یکسانی دارند و همبستگی نتایج در دو مسیر نیز معنی‌دار است. در ادامه، شکل شماره ۵ مقایسه زمان عبور پالس آکوستیک دستگاه داخلی را در برابر اروپایی از لحاظ زمان عبور پالس آکوستیک از هر حسگر به حسگر دیگر نشان می‌دهد.

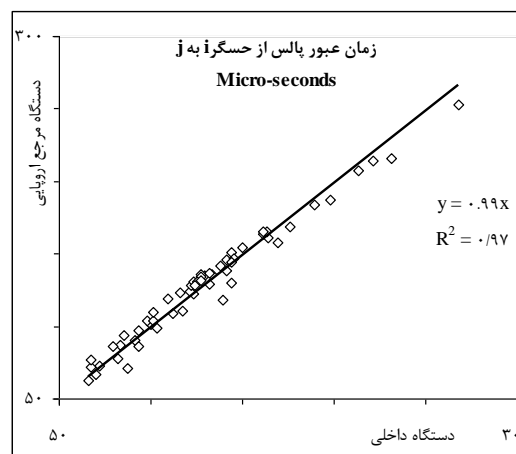
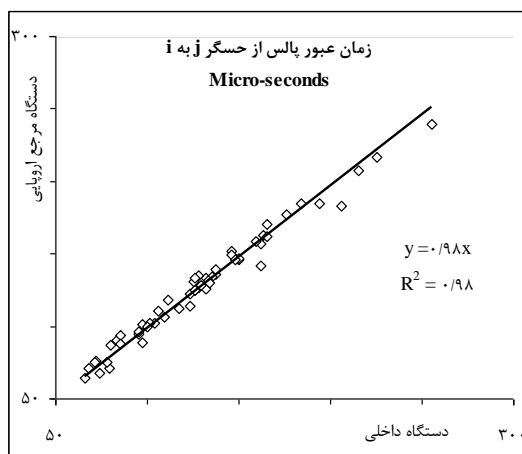
پس از آن با توموگرافی طوقه، درصد پوسیدگی یا هرگونه آسیب مخفی و غیرمخفی مشخص و نتایج به‌دست‌آمده آزمون توموگرافی با نتایج آزمون چشمی مقایسه شد.

نتایج

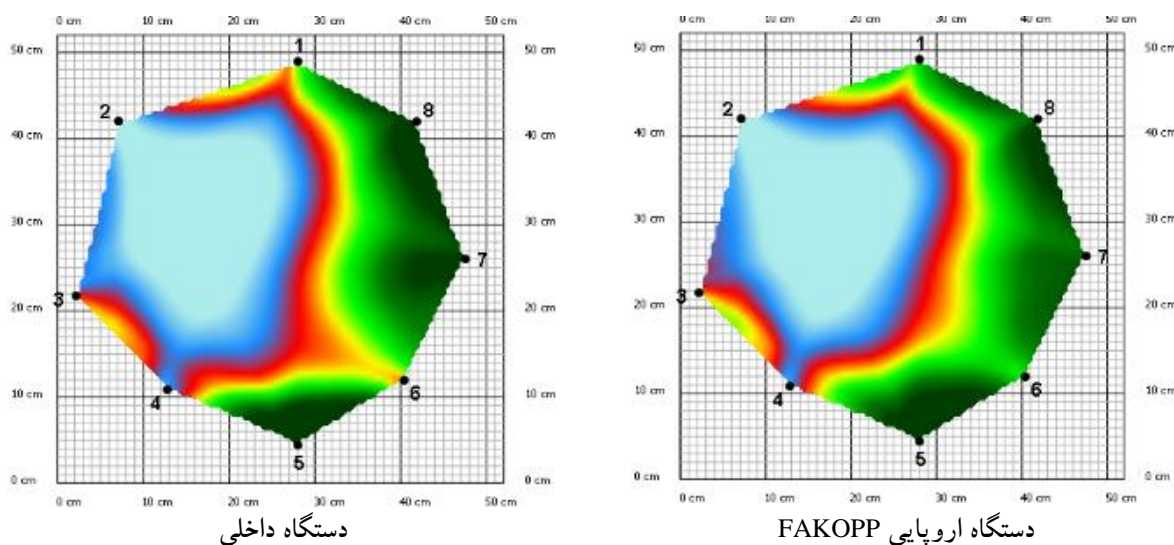
نمودار شکل شماره ۴، مقایسه زمان‌های عبور پالس آکوستیکی در مسیرهای رفت و برگشت حسگرهای i و j دستگاه توموگرافی داخلی و اروپایی را نشان می‌دهد. i و j با توجه به تعداد حسگرهای پیزوالکتریک میخی شکل،



شکل ۴- مقایسه زمان عبور پالس آکوستیک از هر حسگر به سایر حسگرها و بعکس (i و j در تمام شکل‌ها دارای مقادیر متغیر از ۱ تا ۸)



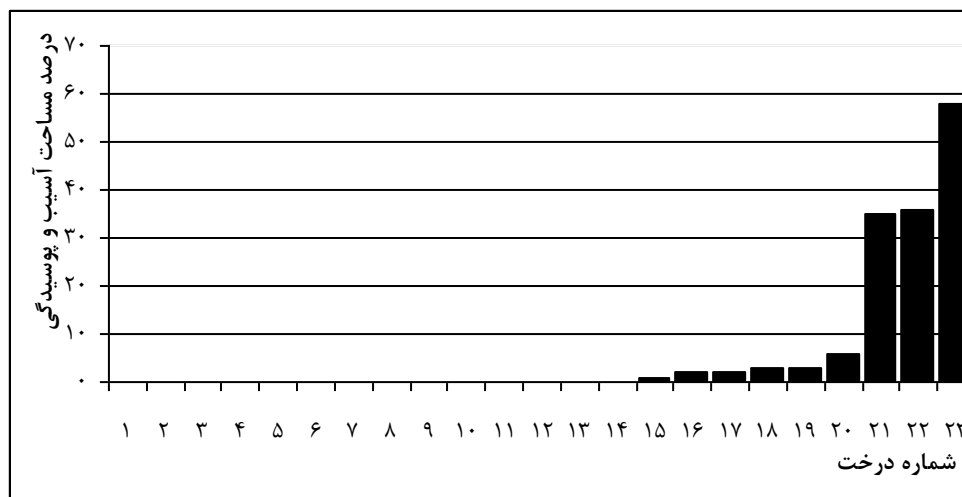
شکل ۵- مقایسه زمان عبور پالس آکوستیک دستگاه داخلی و اروپایی از هر حسگر به سایر حسگرها (نمودار سمت راست از i به j و مسیر بعکس (نمودار سمت چپ از j به i))



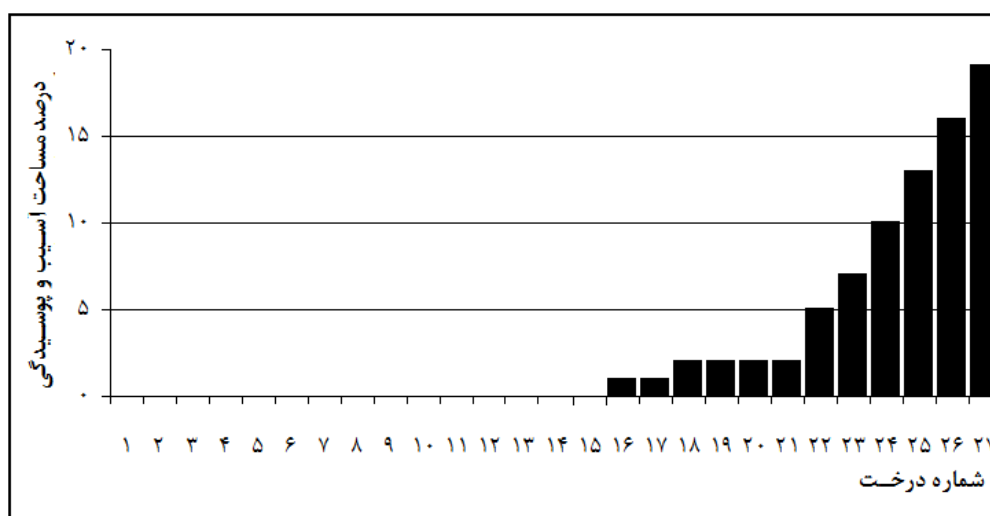
شکل ۶- مقایسه نمونه‌ای (۱۰۳ بار تکرار) از توموگرام‌های تهیه شده از یکی از مجموعه نمونه‌های آزمونی درختان منتخب شهر کرج، حاصل از دستگاه داخلی در مقایسه با دستگاه مرجع اروپایی

مقایسه نتایج آزمون چشمی درختان را با آنچه تصاویر توموگرام آشکار نموده‌اند به ترتیب برای درختان بدون رخنمون آسیب، درختان با علائم آسیب متوسط و درختان با علائم شدید آسیب ظاهری که به ترتیب با افزایش و توسعه آسیب داخلی طوقه مرتب شده‌اند، نمایش می‌دهد.

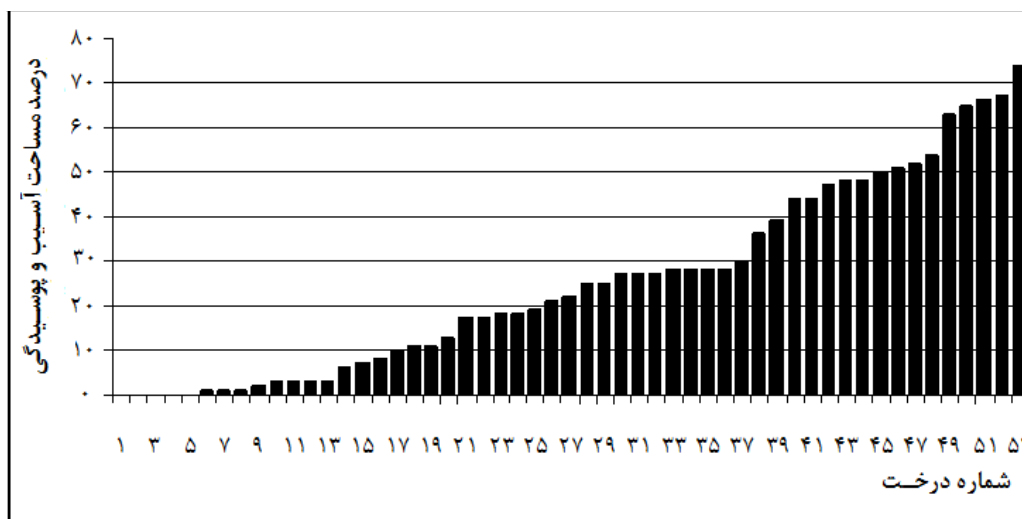
شکل ۶ نتایج استخراج شده از دستگاه داخلی را در مقایسه با دستگاه مرجع اروپایی نشان می‌دهد که با دقت خیلی زیاد مشابه هستند. در نمودارهای شکل ۶، رنگ سبز نشانه نواحی کاملاً سالم و رنگ زرد تا قرمز، روند افزایشی شدت آسیب در چوب تنه درخت را نمایش می‌دهد. شکل‌های ۷ تا ۹



شکل ۷- درختان کد ۱، بدون هیچ‌گونه رخنمون ظاهری آسیب در طوقه



شکل ۸- درختان کد ۲، با علائم ظاهری آسیب کم تا متوسط در طوقه

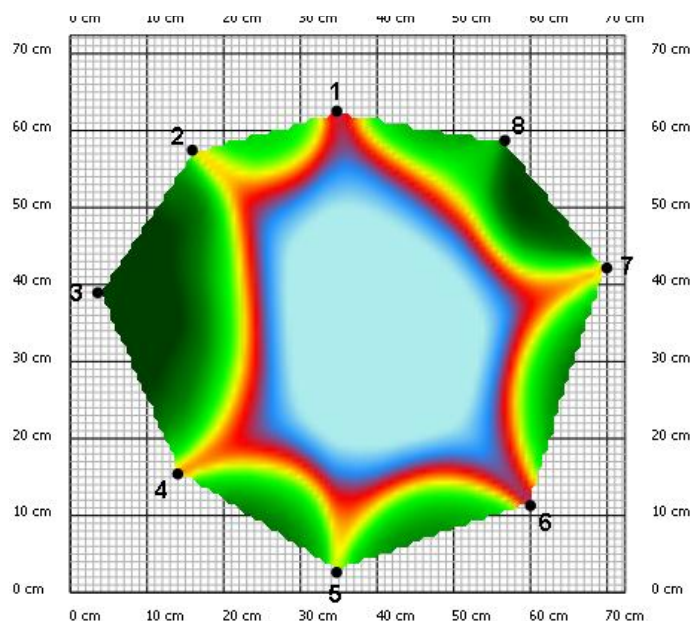


شکل ۹- درختان کد ۳، دارای علائم شدید آسیب ظاهری در طوقه

بحث

آکوستیک دستگاه داخلی در برابر اروپایی از لحاظ زمان عبور پالس آکوستیک از هر حسگر به حسگر دیگر نشان می‌دهد. با مطالعه نمودارهای مندرج در این شکل، اختلاف جزئی، برابری نتایج هر دو دستگاه در هر دو مسیر رفت و برگشت از حسگرها مورد تأیید قرار گرفته است. البته برابری نتایج در این نمودار نیز مؤید تکرارپذیری و تکثیرپذیری دستگاه داخلی است.

همان‌گونه که در بالا گفته شد، مقایسه مندرج در شکل ۴ نشان می‌دهد که هر دو دستگاه داخلی و اروپایی در مسیر رفت و برگشت برآورد زمان عبور پالس برابر و یکسانی دارند و همبستگی نتایج در دو مسیر نیز معنی‌دار است. اختلاف یک یا دو درصد در محدوده قابل قبول است، اما شکل شماره ۵ مقایسه زمان عبور پالس



شکل ۱۰- پوسیدگی مخفی طوقه یکی از درختان کد ۱ بدون هرگونه رخنمون آسیب یا پوسیدگی که تصاویر توموگرام حاکی از توخالی بودن درخت مذکور می‌باشد.

تصاویر توموگرام درختان با آسیب ظاهری متوسط (کد ۲) نشان داد که تعداد ۱۵ پایه از ۲۷ پایه مورد بررسی، فاقد هرگونه پوسیدگی یا آسیب داخلی بوده و از بین ۱۲ پایه دارای آسیب، تعداد ۵ پایه پوسیدگی داخلی کمتر از ۵٪ داشتند (شکل ۸). عدم کفایت آزمون با چشم غیرمسلح نیز در این گروه از درختان مشهود است. البته وجود علائم ظاهری آسیب می‌تواند نشانه شروع حملات بیولوژیکی و احتمال توسعه آسیب به داخل تنه درخت باشد. از این رو، از این لحاظ باید مورد توجه قرار گیرند.

بیشتر درختانی که از نظر علائم ظاهری به شدت آسیب دیده (کد ۳) به نظر می‌رسیدند، از نظر تصاویر توموگرافی نیز در طوقه آسیب جدی داشتند (شکل ۹)، اما متأسفانه بازرسی چشمی همین درختان نیز خالی از اشکال نبوده است. تعداد ۵ پایه از ۵۳ پایه درختان کد ۳ فاقد هرگونه آسیب داخلی بوده و از نظر استحکام مکانیکی طوقه سالم تلقی می‌شدند. ۸ پایه کمتر از ۵٪ و بقیه بین ۶ تا ۷۴ درصد از مقطع طوقه دارای پوسیدگی و آسیب بودند. علاوه بر آن بررسی چشمی هیچ‌گونه اطلاعاتی از درصد اضمحلال مقطع در اختیار قرار نمی‌دهد که دانستن آن در مطالعات و

تصاویر توموگرام نشان داده شده از دو دستگاه، انطباق خوبی با یکدیگر نشان می‌دهد که این تصاویر برای درخت‌شناسان، اطلاعات قابل قبولی از سلامت یا عدم سلامت نسبی درخت ارائه می‌کند. البته تصاویر توموگرام آزمون‌های آکوستیکی بیش از ۸۵٪ با واقعیت انطباق دارند اما بهبود الگوریتم تهیه این تصاویر و انطباق کامل توموگرام‌های به دست آمده از آزمون‌های غیرمستقیم تصویربرداری از جمله آزمون‌های تصویربرداری صوتی، هنوز در دستورکار آخرین تحقیقات دنیا قرار گرفته است (Bustillo *et al.*, 2017; Arcienegas *et al.*, 2015; Grabianowski *et al.*, 2006).

تصاویر توموگرام نشان داد که تعداد ۹ درخت از ۲۳ درخت گروه کد ۱ یعنی درختانی که در طوقه خود فاقد هرگونه علائم ظاهری آسیب هستند، در واقع حاوی آسیب مخفی هستند که سه درخت دارای آسیب جدی بیش از ۳۵٪ تا ۵۸٪ بودند. این بدین معنی است که پوسیدگی‌های داخلی درخت می‌تواند به طور کامل از نظر مخفی باقی بماند (شکل ۱۰). بنابراین آزمون چشم غیرمسلح برای بازرسی سلامت درخت کافی نمی‌باشد.

پژوهش، حمایت‌های مفیدی در این تحقیق مبذول داشتند، کمال تشکر و قدردانی را داریم. همچنین از استاد محترم، جناب دکتر سیدخسرو حسین اشرفی که با معاینه تمام درختان مورد آزمون، در شناسایی علائم ظاهری آسیب درختان مساعدت شایانی نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

- Ahmad, NI. Almuin, N. Fakhurazi, M. 2012. Ultrasonic Characterization of Standing Tree. 18th World Conference on Nondestructive Testing, 16-20 April 2012, Durban, South Africa. 2-8.
- Arcienegas, A. Brancheriau, L. Lasaygues, P. 2015. Tomography in standing trees: revisiting the determination of acoustic wave velocity, *Annals of Forest Science* 72(6): 685-691.
- Booker, RF. Ridoutt, B. McConchie, D. Whealleans K and Ball R. 2000. Evaluation of Tools to Measure the Sound Velocity and Stiffness of Green Radiata Pine Logs, *Proceedings of the 12th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood University of Western Hungary, Sopron*, 13-15 September 2000, ISBN 963 7180 88 5, Publisher: University of Western Hungary, H 9400 Sopron
- Bustillo, J. Achidjian, H. Arciniegas, A. Blanc, L. 2017. Simultaneous determination of wave velocity and thickness on overlapped signals using Forward Backward algorithm, *NDT & E International*, 86: 100-105
- Carter, P. Chauchan, S. Walker, J. 2006. Sorting logs and lumber for stiffness using director HM200, *Wood and Fiber Sci.* 38(1):49-54.
- Dashevskii, A. Tailakov, D. 2009. Nondestructive Diagnostics of Living Trees Using Low Frequency Electric Tomography. *Journal of Applied and Industrial Mathematics*. 3(2):173-182.
- Divos, F. Szalai, L. 2002. Tree evaluation by acoustic tomography. In: *Proceedings of the 13th International symposium on nondestructive testing of wood*; 2002 August 19-21; Berkeley, CA. Madison, WI: Forest Products Society: 251-256.
- Dolwin, J. Lonsdale, D. Barnett, J. 1999. Detection of Decay in Trees. *Arboriculture Journal*. 23: 139-149
- Espinosa, L. Arciniegas, A. Cortes, Y. Prieto, F. Brancheriau, L. 2017. Automatic segmentation of acoustic tomography images for the measurement of wood decay, *Wood Science and Technology*, 51(1): 69-84.

بررسی‌های بیومکانیکی بارهای وارده (مثلاً بار باد و وزن درخت) و مقاومت درخت به شکستن و افتادن مهم است.

نتیجه‌گیری

از نتایج تجربی به دست آمده از این تحقیق، نتیجه‌گیری می‌گردد که:

دستگاه توموگرافی آکوستیکی داخلی می‌تواند به عنوان دستگاه مشابه اروپایی برای انجام آزمون‌های غیرمخرب تشخیص کیفیت درختان مورد استفاده قرار گیرد.

آزمون بازرسی درخت با چشم غیرمسلح کفایت لازم برای تعیین میزان پوسیدگی درخت، تصمیم‌گیری، امکان حفظ یا قطع آن و تجزیه و تحلیل‌های بیومکانیکی برآورد خطر و پایداری مکانیکی آن نبوده و با مهیا شدن تجهیزات آزمون غیرمخرب توموگرافی و توسعه آینده آنها، هرگونه تصمیم‌گیری در حفظ یا قطع درخت پرخطر باید بر پایه تحلیل‌های بیومکانیکی و بهره‌گیری از تصاویر توموگرام باشد.

با توجه به دقت زمان سنج‌های میکروثانیه و حسگرهای پیزوالکتریک و تطابق کامل نتایج با دستگاه مرجع اروپایی، قابلیت بهره‌برداری از دستگاه داخلی در برآورد سرعت ناحیه‌ای صوت در تیر و الوار و تخته و همچنین موضوع تحقیقاتی مدول‌های الاستیسیته ناحیه‌ای و مدول الاستیسیته کلی، مورد پیشنهاد قرار می‌گیرد.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل نتایج قرارداد پژوهشی شماره ۱۳۹۴/۱۰/۳۰ مورخ ۸۹/۵/۱۳۹۲۸۳ کرج (کارفرما) و دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج (مجری) تحت عنوان "توموگرافی و شناسایی کیفیت درختان سرپای شهرستان کرج و پیش‌بینی خطرات سقوط آنها توسط آزمون غیرمخرب ارتعاش" می‌باشد. از این‌رو از مسئولان محترم شهرداری کلانشهر کرج که کلیه هزینه‌های انجام این تحقیق را فراهم کردند و همچنین از مسئولان محترم سازمان سیما، منظر و فضای سبز شهری شهر کرج که ضمن نظارت بر روند

- Roohnia, M., 2007: NDT-LAB, System to evaluate the mechanical properties of wood. IR-Patent No. 4032/22-08-1386. Iranian official Journal. Retrieved 14-04-2017:
<http://www.gazette.ir/Detail.asp?NewsID=914760224197351&paperID=975266637116773>
- Roohnia, M. Alavi-Tabar, S. E.; Hossein, M. A. Brancheriau, L. Tajdini, A. 2011. Dynamic modulus of elasticity of drilled wooden beams. *Nondestructive Testing and Evaluation*, 26 (2): 141-153.
- Roohnia, M. Yavari, A. Tajdini, A. 2010: Elastic Parameters of Poplar Wood with End-Cracks. *Annals of Forest Science*, 67 (4): 1-6.
- Ross, J. 2007. Diameter Effect on Stress-Wave Evaluation of Modulus of Elasticity of Logs. *Wood and Fiber Science*. 36(3):368-377.
- Ross, J. Zerbe, Z. Xiping, W. Green, D. Pellerin, R. 1997. Stress wave nondestructive evaluation of Douglas fir peeler cores. *Forest Prod. J.* 55(3):90-94.
- Rust, S. 2000. A new tomographic device for the non-destructive testing of standing trees. *Proceedings of the 12th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood*. University of Western Hungary, Sopron, 1:233-238.
- Wang, X. Allison, B. Wang, L. Ross, R. 2007. Acoustic Tomography for Decay Detection in Red Oak Trees, Research Paper, FPL-RP-642. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 7 p.
- Grabianowski, M. Manley, B. Walker, J. 2006. Acoustic measurements on standing trees, logs and green lumber. *Wood Sci. & Tech.*40(3):205-216.
- Huang, CL. Floyd, SL. 2013. Methods for determining velocity of a stress wave within a material, European Patent Specification Pub. 4:84-91.
- Kazeminajafi S. 2016. Nondestructive evaluation of standing trees. Tarbiat Modares University Press. 436p.
- Laurence, R. Costello and Stephen L. Quarles. 1999. Detection of wood decay in blue gum and elm: an evaluation of the resistograph and the portable drill. *Journal of Arboriculture*. 25(6):311-318
- Liu, T. Lizzi, FL. Silverman, RH. Kutcher, GJ. 2004. Ultrasonic tissue characterization using 2-D spectrum analysis and its application in ocular tumor diagnosis. *Med Phys*. 31(5):1032-1039
- Roohnia, M Tajdini, A. 2014. Identification of the severity and position of a single defect in a wooden beam, *BioResources*, 9(2): 3428-3438
- Roohnia, M. Brancheriau, L. 2015. Orientation and position effects of a local heterogeneity on flexural vibration frequencies in wooden beams. *Cerne*. 21(2): 339-344.
- Roohnia, M. Brémaud, I. Guibal, D. Manouchehri, N. 2006. NDT_Lab; Software to evaluate the mechanical properties of wood. p. 213-218, International conference on integrated approach to wood structure, behaviour and application, joint meeting of ESWM and COST Action E35, Forence, Italy.

Development of tomographic technology (case study: trees from Karaj city)

M. Roohnia^{1*}, A. Jahan latibari², B. Behzad³, J. Zarrinmehr⁴, M. Kohantorabi⁵,
N. Manouchehri⁶ and A. Tajdini⁷

1*-Corresponding author, Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj-Iran, Email: mehran.roohnia@kiaiu.ac.ir

2- Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj-Iran

3-Faculty member, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj-Iran

4-Employee, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj-Iran

5-PhD. Student, Department of Wood and Paper Science and Technology College of Agriculture and Natural Resources, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran-Iran

6-Invited researcher, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj-Iran

7-Associate Prof., Department of Wood and Paper Science and Technology, College of Agriculture and Natural Resources, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj-Iran

Received: Oct., 2017

Accepted: Jan., 2018

Abstract

This research investigated the potential of acoustical Tomography and Imaging technology in the determination of the static strength of the urban standing trees to resist the forces exerted by heavy winds and tornados. First, locally made sensors and, micro-second timers and tomography images were compared with those of a certified European device in radial to tangential and longitudinal directions which showed good performance of Iranian made device. Having this technology available, the selected trees with the collar defect symptoms were initially inspected visually, then the visual accuracy was monitored by sonic tomography. While inspecting 103 trees, some were extremely defected internally, while the visual inspection showed their intactness (9 from 23). Afterward, some trees which showed having visually defect signs were proved to be intact after carrying the tomography images (up to 10 from 53). Therefore, it can be concluded that the visual tree defect inspection is not satisfactory for saving or eliminating the individual and these kinds of decision makings must be supported by the methods showing the hidden discontinuities or defects.

Keywords: Defect, tomography, tree, sound velocity, collar, wood.