ارزيابي سه بعدي پوسيدگي در چوب بلوط با بهره‌گیری از روش غيرمخرب اولتراسونيك

سعيد كاظمي‌نجفي*[١]، سارا نجاري[٢]، كامبيز پورطهماسي[٣] و علي‌نقي كريمي[٤]

[١] دانشيار گروه علوم و صنايع چوب وكاغذ، دانشكده منابع طبيعي و علوم دريايي نور، دانشگاه تربيت مدرس، ايران

[٢] دانش‌آموخته كارشناسي‌ارشد، گروه علوم و صنايع چوب وكاغذ، دانشكده منابع طبيعي و علوم دريايي نور، ايران

[٣] استاديار گروه علوم و صنايع چوب و كاغذ، دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران، ايران

[٤] استاد گروه علوم و صنايع چوب و كاغذ، دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه تهران، ايران

(تاريخ دريافت: ٨٥/١٠/٢٤، تاريخ تصويب: ٨٧/٢/٢)

چكيده

با اعمال روش غيرمخرب اولتراسونيك وضعيت دروني يک بلوك چوبي بلوط دارای پوسيدگي به ابعاد تقريبي ١٥cm × ٢٠cm × ٣٠ cm مورد ارزيابي سه بعدي قرار گرفت. سرعت موج‌های اولتراسونيك با بهره‌گیری از دستگاه سيلواتست (فركانس ١۶ kHz) در سه جهت طولي (L)، مماسي(T) و شعاعي(R) اندازه‌گيري و ترسيمه‌هاي سرعت موج‌های اولتراسونيك (تصويرهای اولتراسونيكی) در صفحه‌های عرضي و طولي (شعاعي و مماسي) با بهره‌گیری از نرم‌افزار SigmaPlot تهيه شد. اندازه‌گيري سرعت اولتراسونيك برابر با شبكه‌بندي انجام شده (به ابعاد ٢×٢ سانتيمتر) و با روش اسكنC صورت گرفت. سپس نمونه‌ها جهت دسترسي به وضعيت فيزيكي دروني آنها برش خوردند و وضعيت واقعي دروني نمونه‌ها با تصوير پيش‌بيني شده با روش اولتراسونيك مقايسه شد. نتايج نشان دادند كه به طور كلي روش غير مخرب اولتراسونيك قادر به پيش بيني وضعيت پوسيدگي بدست‌آمده چوب بلوط مي‌باشد و تصويرهای اولتراسونيك بدست آمده همخوانی خوبي را با وضعيت واقعي نمونه‌ها از خود نشان دادند. پوسيدگي باعث كاهش سرعت موج‌های اولتراسونيك مي‌شود كه‌اين كاهش بستگي به عمق و ميزان پيشرفت پوسيدگي (مرحله‌های مختلف پوسيدگي) دارد.

واژه‌هاي كليدي: چوب، پوسيدگي، ارزيابي غير مخرب، سرعت موج‌های اولتراسونيك، اسكن C

* نويسنده مسئول: تلفن: ٠١٢٢-٦٢٥٣١٠١ فاكس: ٠١٢٢-٦٢٥٣٤٩٩ E-mail: skazemi@modares.ac.ir

مقدمه

چوب به عنوان يك ماده خام طبيعي و فرآورده درخت و به دليل داشتن مواد مغذي و در شرايط مساعد طبيعي مانند دما و رطوبت ، هميشه در معرض خطر پوسيدگي قارچي و باكتريايي قرار دارد. پوسيدگي آسيب‌های قابل توجهي را به ساختمان چوب وارد مي‌كند و موجب كاهش دوام و ارزش اقتصادي آن مي‌شود.

قارچها و باكتري‌ها دامنه گسترده‌ای از چوب شامل: چوب درختان سرپا(در جنگل، بوستان‌هاو كنار خيابان‌ها)، گرده بينه‌ها، الوار، چوب‌های ويژه خدمات(تراورس‌ها، پل‌هاي چوبي، تيرهاي ارتباطات...)، فرآورده‌هاي لايه‌اي و مواد مركب چوبي(خرده چوبي و ليفي)را مورد حمله قرار مي‌دهند. در درختان سرپا پوسيدگي علاوه بر كاهش مقاومت درخت در مقابل بارهاي وارد شده به آن(باد و برف) باعث خشك شدگي و افتادن درخت نيز مي‌شود كه در مورد درختان بوستان‌ها و كنار خيابان‌ها از نظر مسايل ايمني بسيار مهم مي‌باشد.
همچنين در گرده بينه‌ها و الوار ضريب تبديل آنها به فرآورده‌هاي چوبي به واسطه پوسيدگي كاهش مي‌يابد. در فرآورده‌های نهايي، پوسيدگي موجب تغيير رنگ و كاهش مقاومت‌ها شده و به طور قابل ملاحظه‌اي از ارزش آنها مي‌كاهد. در سازه‌هاي چوبي نيز پوسيدگي سبب كاهش مقاومت اعضاي زير بار شده و موجب شكست آنها مي‌شود كه مساله مهمي از نظر خطرهای احتمالي و ايمني مي‌باشد. بنابراين با توجه به اهميت پوسيدگي از نظر آسيب‌های قابل ملاحظه اقتصادي و كاهش مقاومت چوب و به منظور جلوگيري از خطرهای احتمالي ناشي از تخريب و شكست در اعضاي پوسيده زير بار در سازه‌هاي چوبي، تشخيص پوسيدگي و جلوگيري از گسترش آن اهميت قابل ملاحظه‌اي دارد.

قديمي‌ترين، متداول ترين، ساده ترين و سريع‌ترين روش ارزيابي و تشخيص پوسيدگي روش عيني يا ارزيابي ظاهري[1] است كه از علامت‌های ظاهري موجود در رويه‌های بيرونی مواد چوبي براي تشخيص پوسيدگي بهره‌گيری مي‌شود. بنابراين روش يادشده نمي‌تواند در شناسايي پوسيدگي اوليه و پوسيدگي درونی به علت ندیدن نشانه و علامتي از پوسيدگي مورد بهره‌گيری قرار گيرد. از اينرو روش‌ها و ابزار بيشماري برای تشخيص مرحله‌های اوليه وارزيابي پوسيدگي درونی و يا عيب‌های ديگر و آسيب‌های ناشي از آنها گسترش يافته‌اند.
يكي از اين روش‌ها كه براي تشخيص پوسيدگي و مرحله آن متداول مي‌باشد، اندازه‌گيري كاهش وزن ناشي از پوسيدگي است. اين روش بايد به صورت تخريبی انجام مي‌شود و بنابراين انجام آن براي بازرسي سازه‌هاي چوبي واعضاء ساختماني شبكه به‌طور كلی غير عملي است و از طرف ديگر قابليت اين روش در پيش بيني كاهش مقاومت و كيفيت درونی، زماني مقدور است كه كاهش وزن محسوس و يا به عبارتي زياد باشد.

لذا به دليل مخرب و وقت‌گير بودن و نامناسب بودن اين روش براي ارزيابي‌هاي ميداني)۱۰، ۱۳(كوشش‌هاي فراواني براي گسترش يک روش ارزيابي غير مخرب پوسيدگي انجام گرفته است. نتيجه‌اين كوشش‌ها منتج به گسترش دامنه گسترده‌ای از آزمون‌هاي غير مخرب براي تشخيص پوسيدگي شده است مانند روش‌هاي راديوگرافي با اشعه X و گاما[2] (۵، ۸)، توموگرافي رايانه‌اي[3] (۴، ۱۲، ۱۷، ۱۹، ۲۱)، مقاومت به مته[4](۶، ۹، ۱۵) موج تنشي[5] (۳، ۷، ۱۶، ۱۷، ۲۲)، اولتراسونيك(۱، ۴، ۱۰، ۱۱، ۱۸(گسيل صوتي[6] (AE)

۱- Visual inspection
۲- Radiography with X-ray
۳- Computed tomography
٤- Drill resistance
۵- Stress wave
۶- Acoustic emission

(٢٣،٢) شده است كه هر كدام از اين روش‌ها محدوديت‌هايي ويژه خود رادارند.

از بين روش‌هاي يادشده، روش اولتراسونيك به عنوان يك روش سريع، ارزان، با قابليت انعطاف و حمل و نقل (مناسب براي ارزيابي‌هاي ميداني) و ساده توان و كاربرد بسيار خوبي به عنوان يك روش ارزيابي غير مخرب پوسيدگي دارد و به همين علت به ميزان زيادي مورد توجه قرار گرفته است، طوري كه سيزماني[1] و مك دونالد[2] (١٩٨١) اين روش را به عنوان بهترين روش تشخيص عيب‌های درونی بويژه پوسيدگي پيشرفته معرفي كردند.

به‌طورمعمول براي ارزيابي كلي اعضاي چوبي با روش اولتراسونيك از يک سامانه اسكن كردن موسوم به اسكن C بهره‌گيری مي‌شود كه با آن امكان بدست آوردن يک تصوير اولتراسونيك از عضو مورد بررسي امكان پذير مي‌شود. در اين روش از يك نوع سامانه شبكه‌بندي بهره‌گيری مي‌شود(به ويژه در ارزيابي‌هاي ميداني) و با تغيير پيوسته موقعيت مبدل‌هاي فرستنده و گيرنده مشخصه مورد نظر اولتراسونيك اندازه‌گيري و تصوير(نقشه) دوبعدي اولتراسونيك سطح اسكن شده تهيه مي‌شود. اسكن C تصوير كلي از موقعيت عيب‌ها مي‌دهد؛ ولي عمق آنها را نشان نمي‌دهد ضمن اينكه ممكن است بعضي از عيب‌ها در حد فاصل شبكه‌بندي‌ها قرار گرفته ونمی‌توان آنها را شناسايي كرد. اين امر لزوم ارزيابي مواد چوبي را در بيشتر از يك جهت نشان مي‌دهد. بنابراين براي پي بردن به عمق عيب‌ها و اندازه آنها نياز به اسكن كردن مواد مورد نظر در جهت‌ها و رويه‌های مختلف مي‌باشد.

هدف از انجام اين بررسی ارزيابي سه بعدي چوب دارای پوسيدگي (با بهره‌گيری از اسكن C) به منظور تعيين حدود و گستره ناحيه پوسيده با روش اولتراسونيك مي‌باشد. حدود و حجم ناحيه پوسيده با وضعيت واقعي درونی چوب مورد بررسي، برابری داده شده و قابليت و توانايي روش اولتراسونيك در شناخت، ارزيابي و تشخيص وضعيت درونی چوب، مورد بررسي قرار مي‌گيرد. نتايج اين بررسی مي‌تواند نقش موثري در گسترش اين فناوري ارزيابي غير مخرب در ارزيابي چوب داشته باشد.

مواد و روش‌ها

در اين بررسي يک قطعه چوب بلوط دارای پوسيدگي به ابعاد تقريبي ٣٠ ×٢٠×١٥ سانتيمتر برابر شكل ١ تهيه شد. براي اندازه‌گيري سرعت امواج اولتراسونيك در جهت‌های مختلف نمونه‌ها، شبكه‌بندي به ابعاد ٢×٢ سانتيمتر بر روي شش سطح بلوک انجام شد (شكل ٣-٢). براي اندازه‌گيري سرعت موج‌های اولتراسونيك از روش عبوري بهره‌گيری شده است. اين روش كاربرد زيادي در ارزيابي غير مخرب مواد چوبي كه تضعيف كننده قوي موج اولتراسونيك هستند، دارد. در اين روش از يك مبدل فرستنده و يك مبدل دريافت كننده كه در مقابل هم، در راستاي محور آزمون نمونه قرار داده مي‌شوند، بهره‌گيری شد. از دستگاه قابل حمل و نقل سيلواتست[3] براي اندازه‌گيري زمان انتقال موج(t) با دقت يک ميكرو ثانيه بهره‌گيری شده است. سيلواتست داراي دو مبدل پيزوالكتريك با نوك مخروطي شكل (يكي به عنوان فرستنده و ديگري دريافت كننده) مي‌باشد كه به صورت مستقيم به مواد چوبي متصل مي‌شود (شكل ٢). در اين دستگاه از موج طولي اولتراسونيك با فركانس ١۶ كيلو هرتز بهره‌گيری مي‌شود.

سرعت موج اولتراسونيك (v) برحسب متر بر ثانيه با توجه به مسافتي كه موج در مدت صرف شده، طي كرده است با بهره‌گيری از رابطه زير محاسبه شد:

$$V= d / t$$

كه d مسافت پيموده شده به متر و t زمان انتقال موج به ثانيه در فاصله بين دو نوك مبدل دستگاه است.

١- Syzmani

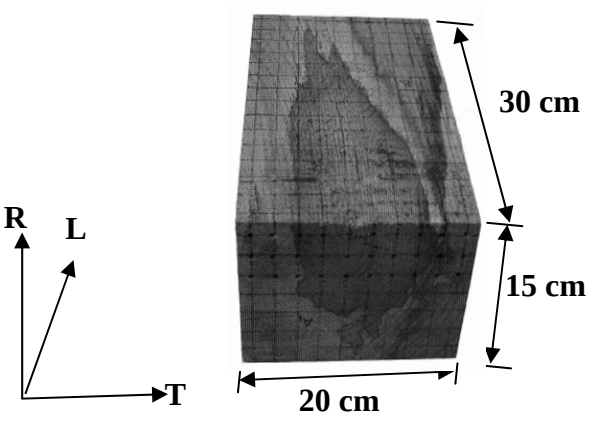
٢- Mc Donald

٣- Sylvatest

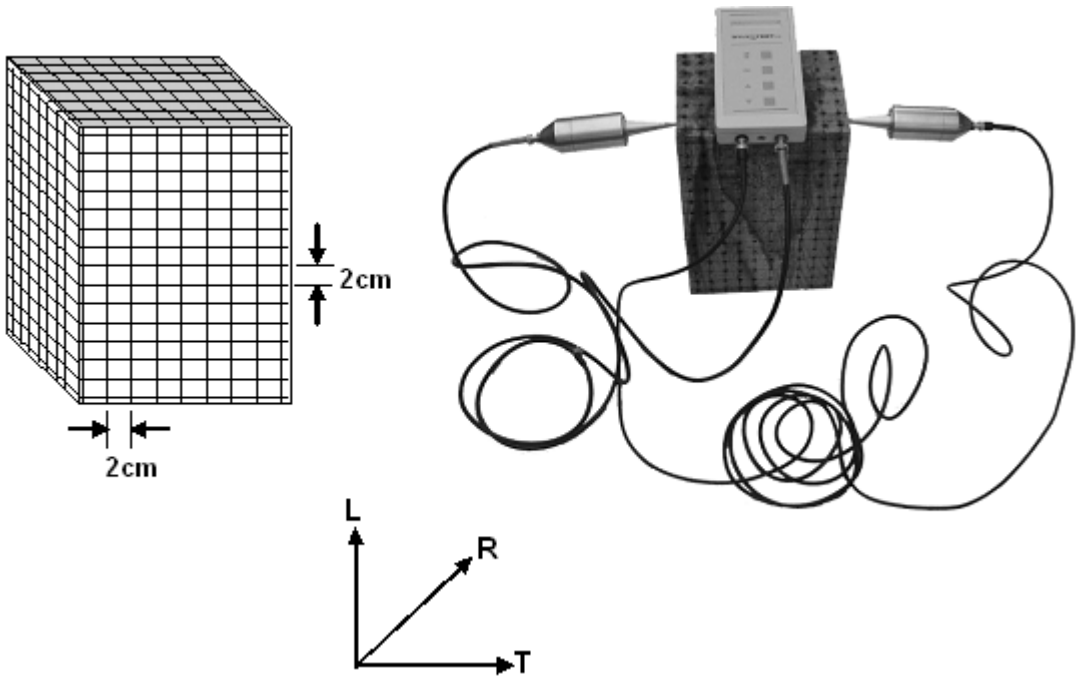
با بهره‌گیری از سرعت موج اولتراسونيك اندازه‌گيري شده در سه جهت طولي، شعاعي و مماسي و به كمك نرم‌افزار SigmaPlot، تصويرهای اولتراسونيك صفحه های مختلف تهيه شد:

- تصوير صفحه عرضي (RT) با بهره‌گیری از سرعت موج‌های اولتراسونيك اندازه‌گيري شده در جهت طولي (L)
- تصوير صفحه شعاعي (LR) با بهره‌گیری از سرعت موج‌های اولتراسونيك اندازه‌گيري شده در جهت مماسي(T)
- تصوير صفحه مماسي (LT) با بهره‌گیری از سرعت‌هاي موج‌های اولتراسونيك اندازه‌گيري شده در جهت شعاعي (R)

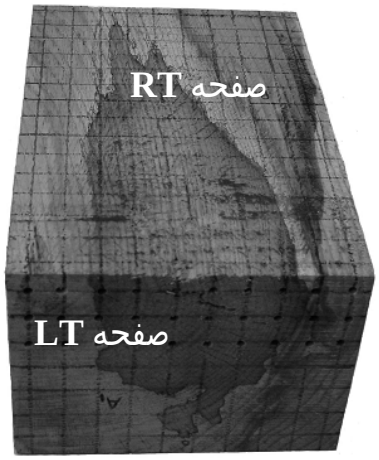
با بهره‌گیری از تصويرهای تهيه شده و تركيب آنها در كنار هم، عمق، محل و مقدار پوسيدگي مورد بررسي قرار گرفت. بعد از ارزيابي اولتراسونيك نمونه‌هاي چوبي براي دسترسي به وضعيت فيزيكي درونـي و ارزيـابي حـدود و گـسترش ناحيـه پوسيده، از صفحه‌های مختلف برش‌هايي انجام شد و شـرايط فيزيكي دروني نمونـه‌هـا بـا تـصويرهای اولتراسـونيك در هـر صفحه مطابقت داده شدند.

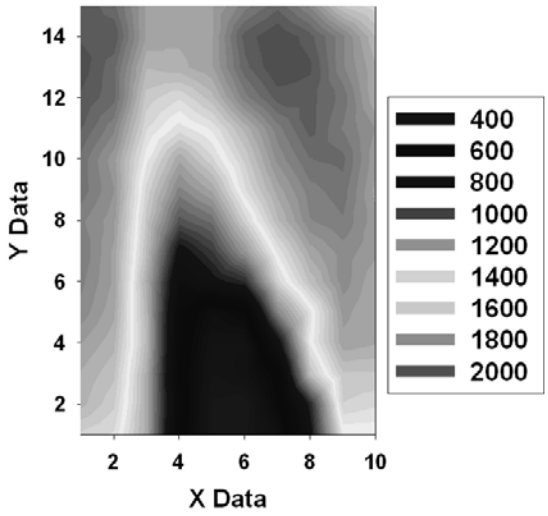


شكل ۱- بلوک چوبي بلوط دارای پوسيدگي

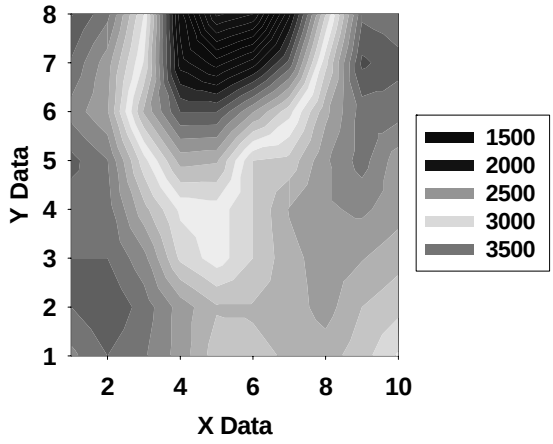


شكل ۲- نحوه شبكه‌بندي بلوک چوبي بلوط (چپ) و و اندازه‌گيري سرعت موج‌های اولتراسونيك با سيلواتست (راست)

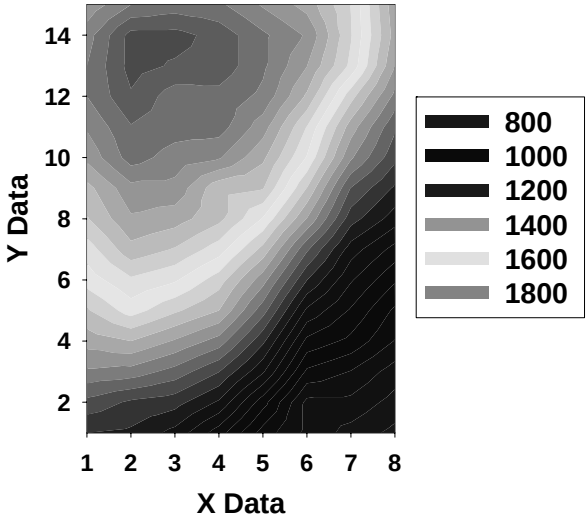




الف) صفحه طولي**LT**



ب) صفحه عرضي **RT**



ج) صفحه طولي **LR**

شكل ٣- تصويرهای اولتراسونيك صفحه‌های الف)طولي **LT** ؛ ب) عرضي **RT** ،ج)طولي **LR** (واحد m/s^2)

با توجه به‌اين كه پوسيدگي سبب كاهش وزن چوب و در نتيجه كاهش تراكم مي‌شود؛ بنابر اين تغيير تراكم در جاهای پوسيده و اطراف آن به عنوان شاخصي از مرحله‌های پيشرفت پوسيدگي در يكي از صفحه‌های طولي (صفحه LT) مورد بررسي قرار گرفت. به منظور تعيين تغيير تراكم نمونه‌هاي مكعبي به ابعاد ۲ ×۲×۲ سانتيمتر تهيه شد و با اندازه‌گيري وزن و حجم آنها، تراكم خشک محاسبه شد.

بحث

شكل ۳ تصويرها اولتراسونيك صفحه های مختلف چوب بلوط را با بهره‌گیری از ۳۵۰ اندازه‌گيري (بر پايه شبكه‌بندي انجام شده) و نرم‌افزار Sigmaplot تهيه شده‌اند به همراه تصوير واقعي آن نشان مي‌دهد.

مقايسه تصويرها صفحه های مختلف نشان مي‌دهد كه سرعت موج اولتراسونيك در جهت طولي بيشترين مقدار را داشته و به تقريب دو برابر جهت عرضي (شعاعي و مماسي) مي‌باشد. بدليل وجود اشعه چوبي فراوان در چوب بلوط سرعت امواج اولتراسونيك در جهت شعاعي بيشتر از جهت مماسي مي‌باشد.

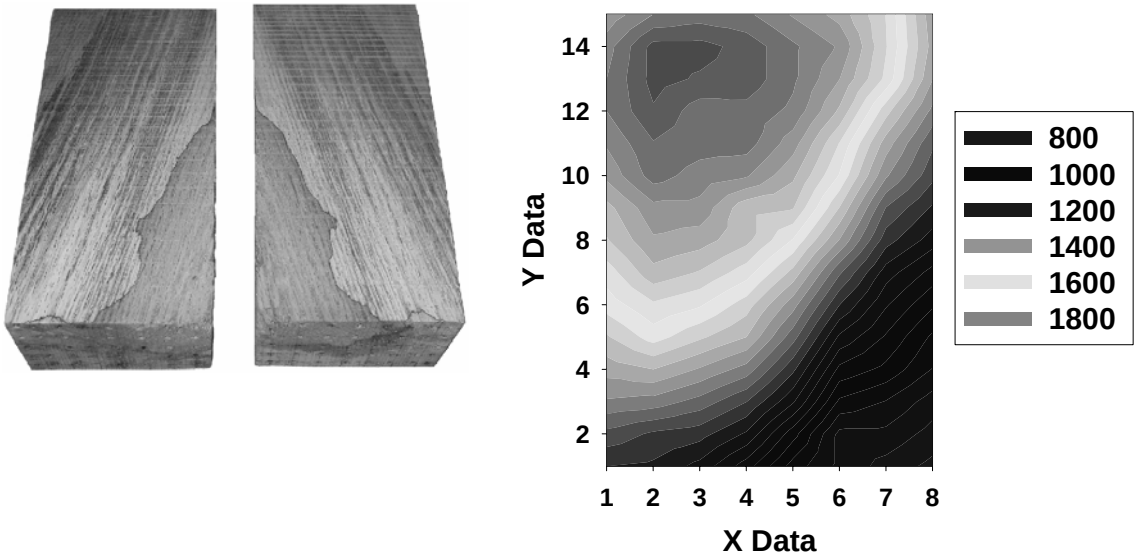
شكل ۴-۱ نشان مي‌دهد كه تصويرهای اولتراسونيك تهيه شده همخوانی خوبي با وضعيت ظاهري پوسيدگي در نمونه‌هاي چوبي دارد. جاهای تيره تر بيانگر سرعت كمتر و جاهای روشنتر بيانگر سرعت بالا مي‌باشند.

تصويرهای تهيه شده در صفحه های LTوRT اگر چه گستردگی ظاهري ناحيه پوسيده را نشان مي‌دهند؛ ولي هر كدام به تنهايي بيانگر عمق پوسيدگي نيستند. در واقع با روبهم گذاري تصويرهای سه صفحه مي‌توان عمق و گستردگی پوسيدگي را در جهت های مختلف پيش بيني نمود. با كنار هم گذاشتن تصوير صفحه LR و صفحه های LTوRT عمق و گستردگی پوسيدگي در جهت های طولي(L) و مماسي(T) به‌طور كامل قابل ديدن است.

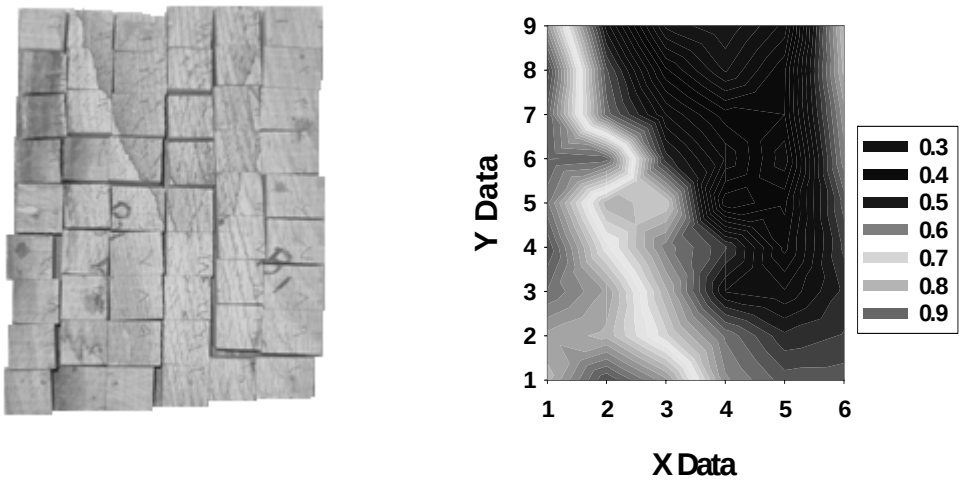
براي مقايسه وضعيت پيش بيني شده دروني(تصوير اولتراسونيك) در صفحهLR با وضعيت واقعي دروني ، بلوک چوبي در جهت شعاعي(R) برش داده شد. بر پايه مقايسه ظاهري رابطه خيلي خوبي بين وضعيت پيش بيني شده و وضعيت واقعي پوسيدگي ديده مي‌شود (شكل ۴). از ارزيابي كلي و روبهم گذاري تصويرهای اولتراسونيك صفحه های مختلف و مقايسه آن باوضعيت واقعي دروني نمونه‌ها مي‌توان نتيجه گرفت كه تفاوت رنگ[1] تصويرهای اولتراسونيك برابر با عمق پوسيدگي مي‌باشد . منطقه های با عمق پوسيدگي بيشتر داراي رنگ تيره تر و منطقه های با عمق پوسيدگي كمتر داراي رنگ روشن تري مي‌باشند. در واقع ميزان سرعت موج‌های اولتراسونيك متناسب با عمق ناحيه پوسيده مي‌باشد.عمق بيشترپوسيدگي سرعت كمتري را نشان مي‌دهد.

شكل ۵ نحوه نمونه برداري و ترسيم تغييرهای تراكم(كه با نرم افزارSigmaplot و تراكم نمونه‌هاي مكعبي تهيه شده است) را در صفحه LT نشان مي‌دهد. برابر شكل ۵ كمينه تراكم(كه ناشي از بيشترين كاهش تراكم بر اثر پوسيدگي است) در جاهای تيره تر ديده مي‌شود. قابل يادآوری است كه كمينه سرعت موج‌های اولتراسونيك در همين جاها به دست آمده است.

۱- Contrast



شكل ۴- تصويرهای واقعي و پيش بيني شده پوسيدگي در صفحه **LR** (واحد m/s^2)



شكل ۵- نحوه نمونه گيري براي تراكم (چپ) و تغييرهای آن در صفحه **LT**(راست)(واحد g/cm^3)

علاوه بر كاهش شديد تراكم در جاهای پوسيده(جاهای تيره‌تر) در نمونه‌ها، يك افزايش تدريجي تراكم به سمت لبه بلوک كه داراي چوب سالم هستند ديده مي‌شود. اين مساله نشان مي‌دهد كه جاهای پيرامون پوسيدگي كه به ظاهر تغيير رنگ نداده‌اند داراي پوسيدگي بوده و با فاصله از منطقه اصلي پوسيدگي مرحله پيشرفت آن كمتر مي‌باشد.اين امر تغييرهای تدريجي سرعت موج‌های اولتراسونيك را در جهت های مختلف كه حتي به ظاهر پوسيده به نظر نمي‌رسند توجيه مي‌كند. بنابراين تفاوت رنگ موجود در تصويرهای اولتراسونيك علاوه بر اين كه عمق پوسيدگي را نشان مي‌دهند بيانگر مراحل مختلف پوسيدگي نيز مي‌باشند.

نتايج

به منظور بررسی و برآورد گسترش ناحيه پوسيده در چوب بلوط، سرعت موج‌های فراصوت در بلوك‌هاي چوبي حاوي پوسيدگي به ابعاد تقريبي ۱۵×۲۰×۳۰ cm اندازه‌گيري و تصاوير رنگي سرعت موج‌های فراصوت(تصويرهای اولتراسونيك) در صفحه‌های عرضي(RT) و مماسي(LR) و شعاعي(LT) با بهره‌گیری از نرم‌افزار SigmaPlot تهيه شده و باوضعيت واقعي دروني نمونه‌ها مقايسه شدند.

نتايج نشان داد كه به طور كلي روش غيرمخرب اولتراسونيك قادر به پيش بيني وضعيت پوسيدگي درونی چوب‌ها مي‌باشد و تصويرهای اولتراسونيك بدست‌آمده، همخوانی خوبي را باوضعيت واقعي نمونه‌ها از خود نشان دادند.

با توجه به‌اين كه اسكن C تنها تصوير دو بعدي از وضعيت پوسيدگي ارايه مي‌دهد، بنابراين براي تعيين حدود و عمق ناحيه پوسيده لازم است كه اسكنC در بيش از يك جهت از صفحه‌های چوب (طولي، مماسي و شعاعي) انجام شود.

نتايج نشان دادند كه با اسكن C در جهت‌های مختلف چوب مي‌توان عمق و حدود ناحيه پوسيده را به خوبي مشخص نمود. پوسيدگي باعث كاهش سرعت موج‌های فراصوت شده كه‌اين كاهش بستگي به عمق و ميزان پيشرفت پوسيدگي(مرحله‌های مختلف پوسيدگي) دارد. بررسي تغيير تراكم در سطوح عرضي و طولي تفاوت رنگ موجود در تصويرهای اولتراسونيك را به خوبي نشان داده است.

منابع

1- Bauer, C., Kilbertus, G., and Bucur, V. 1991. Ultrasonic technique for determining the extent of fungus attack of beech and pine wood. Holzforschung. 45(1): 41-46

2- Booker, R.E., 1994. Internal checking of radiate pine monitored with acoustic emission. Proceeding of 9th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Madison, Wisconsin, USA. 218.

3- Bozhang, S., and Pellerin, R. 1996. Nondestructive evaluation of the degree of deterioration in wood: Stress wave frequency spectrum analysis. Proceeding of 10th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Lausanne, Switzerland, 99-115

4- Bucur, V. 2003. Nondestructive characterization and imaging of wood. Springer. Berlin.354 P.

5- Bucur,V., Garros, S., Navarrete, A., de Troya, M. T., and Guyonnet, R.1996. Kinetics of wood degradation by fungi with X-ray microdensitometric technique, Proceeding of 10th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Lausanne, Switzerland. 209-215.

6- Costello, L. R., and Quarles, S. L.1999. Detection of wood decay in Blue Gum and Elm: an evaluation of resistograph and the portable drill, Arboriculture. J.25 (6):311-318.

7- Divos, F., Daniel, I., and Bejo, L. 2000. Defect detection in timber by stress wave time and amplitude, www.ndt.net , march 2001, Vol. 6 . No.03.

8- Hauffe, ph., Mahler, G., 2000. Evaluation for internal log quality using X ray and ultrasound, Proceeding of 12th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Sorpon, Hungary. 259-263.

9- Helms, D. and Neimz, P. 1994. New application of drill resistance method for quality evaluation of wood and wood products, Proceeding of 9th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Madison, Wisconsin, USA, 95-102.

10- Kim, G.H., Barnes,H.M., and Lyon, D.E. 1991. Decay detection using Pilodyn and ultrasonic techniques, Wood Protection, 1 (2): 61-68.

11- Larsson, B., Bengtsson, B., Gustafsson, M. 2004. Nondestructive detection of decay in living trees. Tree Physiology. Vol (24): 853-858.

12- Nicolotti, G., Socco , L.V ., Martinis, R., Godio, A., and Sambuelli ,L. 2003. Application and comparison of three tomographic techniques for detection of decay in trees, Arboriculture. J. 29(2). : 66-77.

13- Perez, L.P., Llopis, G.V., Moreno, F.C., and Hurtado, V.M. 1994. Using ultrasonic waves for the detection of timber decay in old buildings, Proceedings of 9th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Madison, Wisconsin, U.S.APP: 71-77.

14- Perez, P., Llopis, G.V., Moreno, C. F., and Nieto, M. R. 2000. NDT determination of the strength loss of deteriorated wood by using ultrasonic techniques, Proceeding of 12th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Sopron, Hungary. 327-336

15- Rinn, F. 1996. Nondestructive inspection of building timber with resistograph micro drilling . Proceeding of 10th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Lausanne – Switzerland. 418.

16- Ross, R.J ., Pellerin , R.F., Volny, N., Salsig, W.W., and Falk , R.H. 2001. Stress wave timing: Nondestructive evaluation tools for inspecting historic structures. USDA forest service, Forest Prod Lab., 2-15.

17- Rust, S. 2000. A new tomographic device for the nondestructive testing of trees. Proceedings of 12th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Sopron, Hungary. 233-237.

18- Sandoz, J.L. 1996. Ultrasonic solid wood evaluation in industrial application, Proceedings of 10th International Symposium on Nondestructive Testing of wood. Lausanne, Switzerland.147-153.

19- Sepulveda, P. and Gronlund, A. 2000. Measurement of spiral grain with computed tomography compared with pattern on boards, Proceedings of 12th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. 239-244.

20-Syzmani, R. and McDonald, K.A. 1981. Defect detection in lumber: state of art, Forest Product Journal 31(11): 34-44

21- Szendrodi, D. L., Habermehl, D. A., and Ridder, H. W. 1994. Computer tomographic investigation of standing trees in Hungary. Proceedings of 9th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. 503-511.

22- Wang, X ., Ross, R.J., Erickson, J.R ., Forsman, J.W., McGinnis, G.D. and Pellerin, R.F. 2000. Nondestructive evaluation of standing trees with stress wave methods, Proceedings of 12th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood, Hungary, Sopron. 197-206

23- Zombori, B. 2000. In Situ nondestructive testing of built in wooden members. www.ndt.net, March 2001, Vol.6. No.3.

3D assessing of decay in oak using nondestructive ultrasonic technique

S. Kazemi Najafi[*1], S. Najari[2], K. Pourtahmasi[3] and A. N. Karimi[4]
[1] Associate Prof, University of Tarbiat Modarres, I. R. Iran
[2] M. Sc. Graduate, University of Tarbiat Modarres, I. R. Iran
[3] Assistant Prof, University of Tehran, I. R. Iran
[4] Associate Prof, University of Tehran, I. R. Iran
(Received: 14 January 2007, Accepted: 21 April 2008)

Abstract

The ultrasonic wave velocity was used to detect decay extent and depth. An oak block (15×20×30 cm) with local decay was inspected in three main directions (longitudinal, radial and tangential). Ultrasonic wave velocities in three axis of decayed oak were incorporated into contour and color gradient plots along the wood profile for three direction inspections using SigmaPlot software. The specimen was dissected to compare the predicted internal condition to the actual internal condition. The results showed that the predicted internal condition by ultrasonic technique is in good agreement with the actual internal condition. Decreasing of ultrasonic wave velocity depends on depth and different stages of decay.

Keywords: Wood**,** Decay, Nondestructive evaluation, Ultrasonic wave velocity, C scan

* Corresponding author: Tel: +98 122 6253101 , Fax: +98 122 6253499 E-mail: skazemi@modares.ac.ir