

طراحی و ساخت کامپوزیت‌های پلیمری از الیاف طبیعی و مصنوعی با رزین پلی‌استر برای جایگزینی چوب در ساخت آلات موسیقی

جعفر اسکندری جم^۱، امیرسهیل پیرایش فر^۲، محمدمهدی جلیلی^{۳*}، سید یحیی موسوی^۴ و مهران روح‌نیا^۵

۱- دانشیار، مهندسی مکانیک، مرکز کامپوزیت تهران

۲- کارشناس نخبه مهندسی پلیمر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ساختمان فنی و مهندسی، گروه مهندسی پلیمر

۳- مسئول مکاتبات، استادیار، مهندسی پلیمر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، گروه مهندسی پلیمر

پست الکترونیک: m.jalili@srbiau.ac.ir

۴- کارشناس نخبه مهندسی پلیمر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ساختمان فنی و مهندسی، گروه مهندسی پلیمر

۵- دانشیار، علوم صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، گروه چوب و کاغذ

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۰

تاریخ پذیرش: آبان ۱۳۸۹

چکیده

در این پژوهش با توجه به معایب چوب برای کاربرد در ساخت آلات موسیقی، کامپوزیت‌هایی به‌عنوان جایگزین چوب در آلات موسیقی طراحی گردید و خواص آکوستیک این سه نوع کامپوزیت مختلف (الیاف کربن- رزین پلی‌استر، الیاف شیشه- رزین پلی‌استر، الیاف کف- رزین پلی‌استر) مانند مدول الاستیک، ضریب آکوستیک، فاکتور کارایی تبدیل آکوستیک و دیگر فاکتورهای مرتبط مورد بررسی قرار گرفت. بمنظور درک بهتر نتایج بدست‌آمده از نمونه‌های کامپوزیتی ساخته شده، دو نمونه چوب درختان سرو و توت سفید (که کاربرد بسیار زیادی در ساخت آلات موسیقی دارند) به‌عنوان نمونه‌های شاهد انتخاب شده و مورد بررسی قرار گرفتند. مقایسه نتایج نشان داد که کامپوزیت‌های ساخته شده دارای خواص ارتعاشی و آکوستیکی بسیار ویژه‌ای هستند، به طوری که نتایج بدست‌آمده در نمونه الیاف کربن-رزین پلی‌استر بسیار فراتر از خواص آکوستیک چوب درختان سرو و توت بود. همچنین در این پژوهش میزان جذب آب کامپوزیت‌های تهیه شده در کنار دو نمونه چوب اندازه‌گیری شد، که نتایج مقاومت بسیار خوب این نمونه‌های کامپوزیتی در برابر رطوبت در مقایسه با نمونه‌های چوبی را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: الیاف کربن، الیاف شیشه، الیاف کف، رزین پلی‌استر، خواص آکوستیک، چوب درخت توت سفید و سروسیمین، جذب آب.

مقدمه

امروزه در سراسر جهان استفاده از چوب در ساخت آلات موسیقی کاربرد بسیار دارد، به طوری که در ساخت بیشتر سازهای ارف و سازهای آکوستیک و حتی در ساخت انواع پیانو از گونه‌های مختلف چوب استفاده می‌شود. به-عنوان مثال، استفاده از چوب‌هایی مانند چوب لاله درختی، گردو، پالیساندر، سرو اسپانیایی، افرا، بلوط، نوئل، رز چوب و ... را در ساخت گیتار و استفاده از چوب درختانی مانند افرا، بید، آبنوس، صنوبر و ... را در ساخت ویولون می‌توان نام برد (Rujinirun و همکاران، ۲۰۰۳). گرچه این کاربرد عمومیت دارد، اما استفاده از چوب معایبی را به دنبال دارد (موسوی و پیرایش‌فر، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸)، معایبی مانند:

- نداشتن صدای مطلوب در محیط‌های مرطوب
- مقاومت کم در برابر ضربه
- زمانبر بودن فرایند ساخت و ساز به دلیل طولانی بودن مدت زمان فرآوری چوب
- احتمال وجود مشکلاتی مانند وجود گره در چوب که می‌تواند در ساخت سازی با کیفیت مطلوب و صدادهی مناسب ایجاد مشکل کند.
- امکان تغییر شکل ساز با گذشت زمان که اغلب در دسته سازهای زهی قابل رؤیت است
- احتمال وجود خطای سازندگان در زمان ساخت و یا تراشیدن ساز.

بسیاری از بررسی‌ها اثبات نموده است که استفاده از کامپوزیت‌های پلیمری به جای چوب، می‌تواند بسیاری از مشکلات فوق را برطرف نماید. به طوری که با استفاده از این مواد می‌توان سازی اصلاح شده با مزایایی بسیار را تولید

نمود، که در زیر به تعدادی از این مزایا پرداخته شده است (Pedgley و همکاران، ۲۰۰۹ و موسوی پیرایش‌فر، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸).

- داشتن استحکام بسیار بالا
- اصلاح تأثیرپذیری از رطوبت
- کوتاه کردن مدت زمان تولید ساز
- توانایی تنظیم و اصلاح خواص آکوستیک کامپوزیت برای دستیابی به صدایی مطلوب و دلنشین
- ایجاد خواص گرمایی اصلاح شده (چوب به تنهایی از مقادیر گرمایی نسبتاً پایینی برخوردار است ولی این کامپوزیت‌ها می‌توانند خواص خود را در محدوده دمایی بسیار بالایی حفظ کنند)
- قیمت پایین‌تر ساز
- برطرف کردن اشکالاتی که قبلاً به آنها اشاره شد
- جلوگیری از تخریب محیط‌زیست و حفظ منابع طبیعی.

در این میان Liang و همکاران (۱۹۹۹) خواص آکوستیک را در آلیاژهای دوتایی از رزین‌های اپوکسی انعطاف‌پذیر و سخت، با تغییر دادن نوع رزین‌ها و ترکیب درصد‌های آنها و همچنین تغییر دادن نوع هاردنر بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که آلیاژ کردن انواع اپوکسی-ها با سختی‌های متفاوت خواص آکوستیک را در بازه وسیعی تغییر می‌دهد، همچنین آنها اثبات نمودند که در این آلیاژهای دوتایی خواص آکوستیک به شدت به نوع هاردنر و همچنین میزان ترکیب درصد‌ها وابسته است.

همچنین Janes (۲۰۰۴) و Davis (۱۹۹۴) اذعان نموده‌اند که موفق به ساخت تخته صدایی با استفاده از الیاف

می‌شوند، با این حال کاربرد رزین‌های گرماسخت به دلیل چسبندگی و خواص مکانیکی بالاتر در صنعت کامپوزیت‌های لیفی بیشتر مورد توجه می‌باشد.

در این پژوهش رزین گرماسخت پلی‌استر غیراشباع ایزوفتالیک درجه بوش پل *B-610* محلول در ۶۰٪ استایرن تولید شده توسط صنایع شیمیایی بوشهر (ایران)، به همراه *MEKP* (متیل اتیل کتون پراکساید) به‌عنوان شروع‌کننده در ترکیب یک درصد مورد استفاده قرار گرفت. ترکیب نمودن تمامی مواد فوق سبب می‌گردد که یک واکنش شیمیایی در داخل رزین ایجاد شود که نتیجه این واکنش، ایجاد شدن ساختاری شبکه‌ای و یک پارچه با استحکامی بالا و مقاومتی عالی در برابر حلالها خواهد بود.

در این پژوهش همچنین از الیاف کربن تک جهت *T300* تولید شده توسط کمپانی *Troyca* (آمریکا)، الیاف شیشه تک‌جهت *E-Glass* تولید شده توسط کمپانی *Vetrotex* (فرانسه) و الیاف طبیعی کنف (تولید شده در ایران) به‌عنوان تقویت‌کننده‌های لیفی استفاده شد.

به منظور آشنایی بیشتر با این مواد شیمیایی، توضیح مختصری راجع به خواص هر یک در زیر ارائه شده است:

رزین‌های پلی‌استر: رزین‌های پلی‌استر در کاربردهای مختلفی از قبیل پوشش‌های سطح^۳، چسب، کامپوزیت‌ها و غیره استفاده می‌شوند. پلی‌استر می‌تواند در حضور عوامل پخت و سخت‌کننده‌ها^۴، یک ساختار شبکه‌ای مستحکم را تشکیل دهد (امیدیان، ۱۳۸۰). عمده ویژگی‌های رزین‌های پلی‌استر عبارتند از:

کربن و رزین اپوکسی شده‌اند. آنها در گزارش اختراع خود از کارایی کامپوزیت معرفی شده خبر دادند. Pergley و همکاران (۲۰۰۹) نیز پیش‌بینی نموده‌اند که بتوان با استفاده از فوم‌های پلی‌کربناتی تخته صدای پلیمری تولید نمود. Wegst (۲۰۰۶) نیز به شرح مقدمه‌ای کلی در مورد خواص آکوستیک کامپوزیت‌های کربنی پرداخته است.

این درحالیست که جستجوهای انجام شده توسط این تیم پژوهشی نشان داد که هیچ‌گاه خواص آکوستیک کامپوزیت‌های لیفی به صورت جدی مورد مطالعه قرار نگرفته است. از این‌رو، در این پژوهش خواص آکوستیک کامپوزیت‌های ساخته شده از الیاف کربن، شیشه و کنف به‌همراه رزین ترموست پلی‌استر مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد

به طور کلی صنعت کامپوزیت‌های لیفی، از کنار هم قرار دادن الیاف با استفاده از رزین که در اصل نقش چسب را برای نگهداشتن الیاف به عهده دارد، تشکیل شده است. با توجه به اینکه کلیه تنش‌های محیطی به الیاف وارد می‌گردد، خواص نهایی کامپوزیت به نوع لیف برمی‌گردد و در این کامپوزیت‌ها، رزین در اصل نقش چسب را برای کنار هم نگه‌داشتن الیاف و انتقال تنش‌های محیطی به الیاف ایفا می‌کند. رزین‌ها به طور عمده به دو نوع گرماسخت^۱ (که دارای ساختار شبکه‌ای بوده و قابل ذوب و حل نمی‌باشند) و گرمانرم^۲ (مانند پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و ... که هم در حلال حل می‌شوند و هم می‌توان آنها را بارها ذوب نمود) تقسیم

3 Surface coating
4 hardener

1 -Thermoset
2 -Thermoplastic

مناسبی دارند. مهمترین شکل الیاف کربن به صورت پارچه است که در بافت‌های مختلف وجود دارد (توانا، ۱۳۷۷).

الیاف شیشه^۲: الیاف شیشه استحکام و سختی مناسبی دارد و خواص مکانیکی خود را در دماهای بالا حفظ می‌کند. همچنین این الیاف از مقاومت در برابر رطوبت و خوردگی مناسبی برخوردار است (توانا، ۱۳۷۷).

الیاف کنف: استحکام کششی قابل توجه و قیمت پایین از مهمترین خصوصیات این الیاف می‌باشد، همچنین وجود منابع نامحدود و تجدیدپذیر، توجه بسیاری از صنایع را به استفاده از این الیاف معطوف نموده است (Dhakal و همکاران، ۲۰۰۷).

در جدول ۱ خواص رزین پلی‌استر، الیاف کربن، الیاف شیشه و الیاف کنف استفاده شده در این پژوهش آورده شده است:

- مقاومت شیمیایی عالی
- چسبندگی بسیار عالی
- استحکام کششی مناسب
- مدول فشاری و خمشی بالا
- دوام بالا در شرایط سخت محیطی
- قابلیت پخت در دماهای مختلف
- مقاومت خستگی ممتاز
- قیمت پایین

الیاف کربن^۱: مشخصه الیاف کربن، سبکی، استحکام و سختی بالا می‌باشد. فیبرهای کربن دارای خواص بسیار خوبی در مقابل کشش و خمش بوده و جلاپذیری آنها نیز مناسب است. همچنین مقاوم در برابر رطوبت و تغییرات دمایی هستند. از جنبه اقتصادی نیز می‌توان گفت قیمت

جدول ۱- خواص فیزیکی - مکانیکی رزین پلی‌استر، الیاف کربن، الیاف شیشه و الیاف کنف
(که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند)

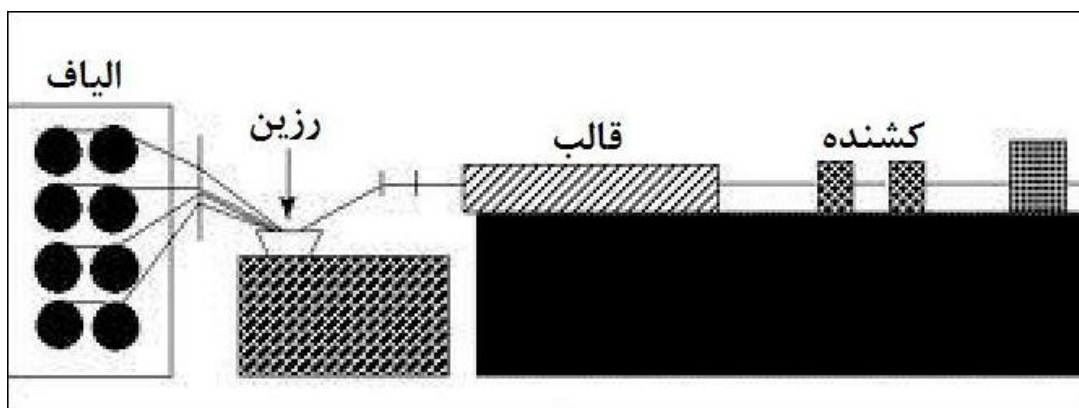
| مدول یانگ (GPa) | استحکام کششی (Mpa) | افزایش طول در نقطه شکست (%) | چگالی (g/cm ³) | |
|--------------------|-----------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------|
| ۳ | ۴۰ | ۵ | ۱/۰۵ | رزین پلی‌استر |
| ۲۵۰ | ۴۹۰۰ | ۲/۱ | ۱/۷ | الیاف کربن |
| ۷۰ | ۲۵۰۰-۳۵۰۰ | ۲/۵ | ۲/۵۰ | الیاف شیشه |
| ۳۰-۴۰ | ۷۰۰ | ۱/۶ | ۱/۲۵ | الیاف کنف |

1- Carbon fiber
2- Fiberglass

روش‌های ساخت

روش استفاده شده برای ساخت نمونه‌ها روش پالتروژن می‌باشد، پالتروژن فرایند پیوسته‌ای برای ساخت انواع پروفیل‌های کامپوزیتی است. در این روش الیاف را پس از آغشتن به رزین از یک قالب گرم عبور می‌دهند تا رزین کاملاً پخت شود. در این روش الیاف از دوک‌هایی که قبلاً

دور آنها پیچیده شده‌اند باز می‌شوند و این الیاف باز شده به کمک یک رشته‌ساز در کنار هم قرار می‌گیرند و بعد وارد حمام رزین می‌شوند و در قالب، مواد شبکه‌ای کننده که قبلاً به رزین اضافه شده‌اند، سبب سخت شدن مواد می‌گردند و بعد به صورت پیوسته از قالب خارج و در شکل‌های مختلف بریده می‌شوند (Wessel، ۲۰۰۴).



شکل ۱- مکانیسم عمل در روش پالتروژن

و آزمایش‌های مربوطه بر روی آنها انجام شد. جدول ۲ نمونه‌های مورد بررسی قرار گرفته در این پژوهش و ترکیب درصد مواد سازنده آنها را نشان داده است:

در این پژوهش با استفاده از دستگاه پالتروژن موجود در پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، نمونه‌های لوله‌ای شکل با قطر و طول به ترتیب 60 Cm و $6/0\text{ Cm}$ از الیاف کربن، الیاف شیشه و الیاف طبیعی کف در کنار رزین پلی‌استر تهیه

جدول ۲- نام نمونه‌های مورد آزمایش قرار گرفته در این پژوهش به همراه مواد سازنده و ترکیب درصد آنها

| نام نمونه | مواد تشکیل دهنده |
|----------------------------|--|
| الیاف کربن - رزین پلی‌استر | ۸۰٪ الیاف کربن تک جهت - ۲۰٪ رزین پلی‌استر و عوامل شبکه‌ای کننده |
| الیاف شیشه - رزین پلی‌استر | ۸۰٪ الیاف شیشه تک جهت - ۲۰٪ رزین پلی‌استر و عوامل شبکه‌ای کننده |
| الیاف کف - رزین پلی‌استر | ۷۵-۸۰٪ الیاف کف تک جهت - ۲۰٪ رزین پلی‌استر و عوامل شبکه‌ای کننده |

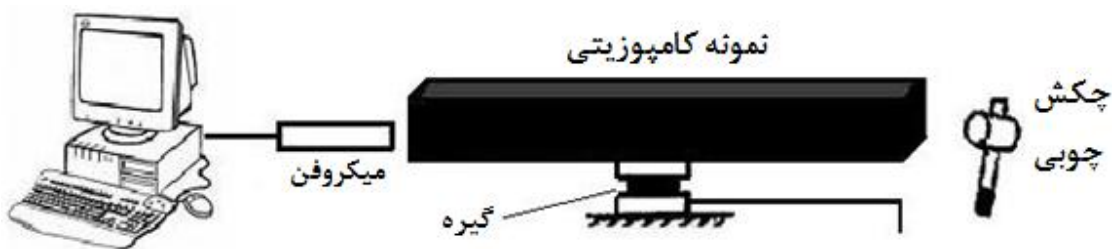
وسط تیر است، با گرفتن تیر دقیقاً از وسط آن با دو انگشت دست (و یا توسط تکیه‌گاه) و بعد زدن ضربه توسط چکش چوبی در امتداد راستای طولی از یک طرف نمونه و ضبط صدای ایجاد شده در انتهای دیگر توسط یک میکروفن (شکل ۲) فایلی با فرمت wave تهیه گردید. این فایل با استفاده از نرم‌افزار Audacity بدست می‌آید. سپس با کمک گرفتن از سری طیف فوریه، سیگنال صدای ورودی را آنالیز نموده و نمودار بلندی صدا برحسب فرکانس را رسم می‌نماید. با آنالیز نمودن پیک اول مشاهده شده در نمودار مذکور، بسیاری از خواص مکانیکی و آکوستیکی نمونه تعیین می‌گردد. برای تجزیه و تحلیل ارتعاش آزاد طولی از نرم‌افزار MATLAB V.7.1 استفاده شد.

در این پژوهش از هر یک از نمونه‌های فوق ۱۰ عدد ساخته شد و خواص آکوستیک آنها اندازه‌گیری گردید. همچنین به منظور مقایسه خواص آکوستیک دو نمونه چوب درختان سروسیمین و توت سفید (که کاربردهای بسیار وسیعی در ساخت آلات موسیقی دارند) از داده‌های بدست‌آمده در پژوهش قبلی یکی از نویسندگان این مقاله، استخراج شد (Roohnia, ۲۰۰۵).

آزمایش‌ها

آزمون غیرمخرب ارتعاش آزاد طولی

در آزمون ارتعاش طولی یا ارسال موج تنشی، با توجه به اینکه محل گره در موج‌های مرتبط با مُد اول ارتعاش^۱ دقیقاً



شکل ۲- نمایی از چگونگی ضبط کردن صدا برای آنالیز توسط نرم‌افزار

قرار داد. بررسی‌ها اثبات نموده است که مقدار طول موج در موج‌های مرتبط هر پیک با استفاده از معادله ۱ بدست می‌آید (Roohnia, ۲۰۰۵):

$$\lambda = 2L/n \quad (1)$$

محاسبات ریاضی بر مبنای روش ارتعاش آزاد طولی پس از آنالیز نمودن صدای ضبط شده با استفاده از طیف سریع فوریه و مشخص نمودن فرکانس اولین پیک مشاهده شده، می‌توان بسیاری از خواص نمونه‌ها را مورد بررسی

1- First vibration mode

حال با در اختیار داشتن مقدار فرکانس و طول موج در اولین پیک مشاهده شده، با استفاده از معادله λ می‌توان سرعت موج‌های متناظر با پیک اول منتشر شده در جهت طولی نمونه را بدست آورد (Roohnia, ۲۰۰۵):

$$\lambda = v/f \rightarrow v = \lambda \cdot f \quad (۳)$$

در رابطه فوق v سرعت فراصوت در جهت طولی در هر پیک، λ طول موج‌های متناظر با هر پیک که با استفاده از معادله ۲ تعیین می‌گردد و f نیز فرکانس انتشار در هر پیک می‌باشد. بررسی‌ها نشان داده است که سرعت فراصوت یکی از عامل‌های صوتی بسیار مهم می‌باشد، به طوری که هرچقدر مقدار این عامل برای نمونه‌ای بیشتر باشد قابلیت ارتعاش آن نمونه بیشتر خواهد بود و در نتیجه نمونه فوق برای ساخت تخته صدا مناسب‌تر خواهد بود (Roohnia, ۲۰۰۵).

بررسی‌ها نشان داده است که با استفاده از سرعت موج‌های منتشر شده در جهت طولی نمونه و همچنین با به‌کارگیری رابطه بسیار معروف زیر می‌توان مدول الاستیک طولی نمونه‌ها را که یکی از عامل‌های صوتی بسیار با اهمیت است به دست آورد (Roohnia, ۲۰۰۵).

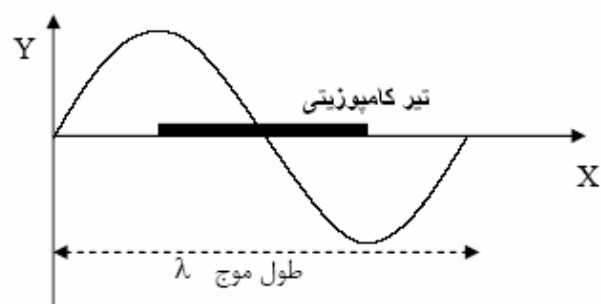
$$v^2 = E/\rho \quad (۴)$$

در این رابطه E مدول الاستیسیته طولی، v سرعت فراصوت در جهت طولی و ρ نیز چگالی نمونه می‌باشد. به طور کلی هرچقدر نمونه‌ای دارای توانایی ارتعاش بیشتری باشد به همان میزان نمونه فوق برای ساخت تخته صدا مناسب‌تر می‌باشد. به طور کلی انرژی‌ای که باعث بوجود

در این رابطه λ مقدار طول موج در موج‌های مرتبط با هر پیک، L طول نمونه و n شماره پیک مورد بررسی می‌باشد که در بررسی‌های انجام شده در این مقاله $n=1$ می‌باشد. بهمین دلیل می‌توان انتظار داشت که مقدار طول موج در موج‌های مرتبط با پیک اول دو برابر طول نمونه باشد، که این مورد در معادله ۲ نشان داده شده است (Roohnia, ۲۰۰۵):

$$\lambda_{n=1} = 2L \quad (۲)$$

همان‌طور که بیان گردید در روش ارتعاش آزاد طولی وسط نمونه تیری شکل، گره و دو انتهای آن، شکم‌های موج‌های متناظر با پیک اول منتشر شده در طول نمونه می‌باشد که این موضوع در شکل ۳ نشان داده شده است، در این شکل نیز باتوجه به مختصات بیان گردیده می‌توان مشاهده کرد که طول موج متناظر با پیک اول مشاهده شده، دو برابر طول نمونه می‌باشد (مجیدی ذوالبنین، ۱۳۷۰).



شکل ۳- مختصات گره‌ها و شکم‌های امواج منتشر شده در نمونه تیری شکل

راحت تر مرتعش شده و ارتعاش آن دیرتر میرا می شود. تحقیقات نشان داده است که اثر جرم ویژه در تئوری زیر محسوس تر است به طوری که (Roohnia, ۲۰۰۵):

$$K = (E/\rho^3)^{0/5} \quad (6)$$

در معادله فوق E مدول الاستیسیته طولی و ρ چگالی ویژه است، K نیز برطبق تعریف ضریب آکوستیک جسم مرتعش است که هرچقدر بیشتر باشد، نمونه خواص ارتعاشی بهتری برای استفاده در صفحات مرتعش جعبه تشدید آلات موسیقی دارد (Roohnia, ۲۰۰۵).

صدایی که از ارتعاش چوب ساطع می شود، به مرور میرا می شود که این ناشی از مصرف انرژی آکوستیکی ارتعاش آن است. انرژی آکوستیکی از طریق جذب صوت برای مقابله با اصطکاک داخلی که نتیجه آن آزاد شدن گرماسست مصرف می گردد. به طور کلی در ساخت صفحه فوقانی جعبه های تشدید، چوبی انتخاب می شود که اصطکاک داخلی کمتر و در نتیجه بازتاب صوتی بیشتری داشته باشد. فاکتور میرایی ($Tan\delta$) مواد از تجزیه و تحلیل نحوه افت دامنه ارتعاش نمونه نسبت به زمان (در پیک اول) با استفاده از طیف سریع فوریه، بدست می آید و با استفاده از آن، فاکتور کیفیت (Q) نمونه تعیین می گردد. معادله ۷ چگونگی ارتباط این دو عامل را بیان می کند (Roohnia, ۲۰۰۵).

$$Q = 1/Tan\delta \quad (7)$$

برای بررسی دقیق تر میزان مانایی صدای آلات موسیقی عامل دیگری به نام کارایی تبدیل آکوستیک تعریف شده

آمدن ارتعاش می شود سبب جابه جایی ارتعاش در جسم مرتعش می شود. و هرچقدر جسم مرتعش سبک تر باشد این انرژی، جسم را راحت تر مرتعش می سازد و بعکس هرچقدر نمونه سنگین تر باشد، سخت تر مرتعش می شود. به علاوه اینکه هرچقدر مدول الاستیسیته جسم بیشتر باشد به همان میزان توانایی ارتعاش بیشتر و هرچقدر مدول الاستیسیته کمتر باشد توانایی ارتعاش جسم کمتر می گردد (Roohnia, ۲۰۰۵). به عبارت دیگر مدول الاستیسیته ویژه، عامل مناسبی برای بررسی چگونگی ارتعاش می باشد که با استفاده از رابطه زیر تعیین می گردد.

$$S = E/\rho \quad (5)$$

در رابطه فوق S مدول الاستیسیته ویژه طولی، E مدول الاستیسیته طولی و ρ چگالی ویژه (چگالی نمونه تقسیم بر چگالی آب که در شرایط استاندارد می باشد) نمونه می باشد. نظربه اینکه چگالی ویژه کمیتی بدون واحد است، مدول الاستیسیته ویژه نیز همانند مدول الاستیسیته برحسب پاسگال بیان می شود. باتوجه به مطالب فوق و نگاهی به معادله ۶ می توان دریافت که اگر جسمی دارای مدول الاستیسیته بالا و در عوض چگالی ویژه پایین باشد، مدول الاستیسیته ویژه بالاتر داشته و می تواند به راحتی مرتعش شده و پس از قطع منبع ارتعاش برای مدت طولانی تری به ارتعاش خود ادامه دهد (Roohnia, ۲۰۰۵ و Brancheriau, ۲۰۰۲).

همان طور که بیان گردید هرچقدر چگالی ویژه جسم مرتعش کمتر و مدول الاستیسیته طولی آن بالاتر باشد نمونه

کامل آون، نمونه‌ها بلافاصله از آون خارج و با ترازوی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم وزن گردیدند و بعد در آب مقطر در دمای محیط انداخته شدند. در نهایت چندین بار در زمان-های معین وزن گردیدند. بنابراین درصد جذب آب نمونه‌ها با استفاده از فرمول زیر تعیین گردید (Visco و همکاران، ۲۰۰۸):

در این فرمول M_0 وزن اولیه نمونه، M_t وزن نمونه پس از گذشت هر دوره غوطه‌وری و M درصد جذب آب نمونه پس از گذشت هر دوره زمانی می‌باشد.

نتایج

چگالی نمونه‌های الیاف کربن-رزین پلی‌استر، الیاف شیشه-رزین پلی‌استر، الیاف کنف-رزین پلی‌استر و نمونه‌های شاهد انتخاب شده (چوب درختان سرو و توت) در نمودار ۱ نشان داده شده است:

همان طور که در نمودار ۱ ملاحظه می‌گردد چگالی نمونه‌های کامپوزیتی نسبت به نمونه‌های شاهد چوب بالاتر می‌باشد که علت این پدیده چگالی بالای الیاف است. به‌طور کلی چگالی رزین پلی‌استر در حدود $1/05 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ است این در حالیست که چگالی الیاف کربن در حدود $1/7 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ و چگالی الیاف شیشه در حدود $2/5 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ و چگالی الیاف کنف در حدود $1/25 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ می‌باشد.

نمودارهای بدست‌آمده از تحلیل صداهای ضبط شده توسط طیف سریع فوریه، برای نمونه‌های الیاف کربن-رزین پلی‌استر، الیاف شیشه-رزین پلی‌استر، الیاف کنف-رزین پلی‌استر در نمودار ۲ به نمایش گذاشته شده است.

است که با استفاده از معادله ۸ بدست می‌آید (Roohnia, ۲۰۰۵):

$$ACE = K/Tan\delta \quad (۸)$$

بررسی‌ها نشان داده است که در یک جسم مرتعش، هرچه قدر صدا زودتر افت کند کارایی تبدیل آکوستیک آن کوچک‌تر خواهد بود که این فاکتور سبب تحلیل رفتن صدای بوجود آمده در ارتعاش سیم‌ها در آلات موسیقی زهی می‌شود، که پدیده بسیار نامطلوبی است (Roohnia, ۲۰۰۵).

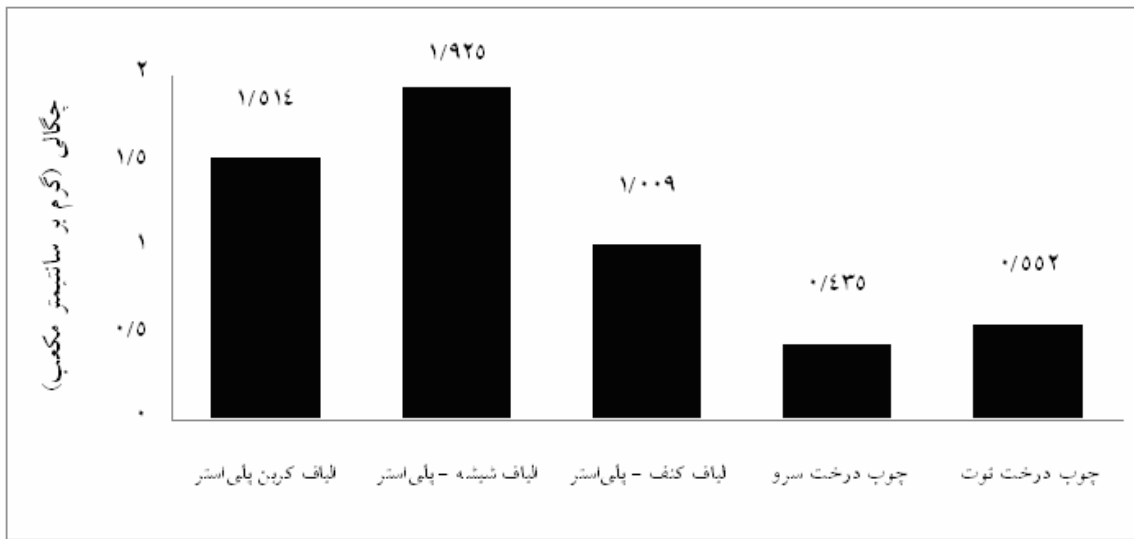
چگالی

برای تعیین چگالی، قطعه‌هایی به طول ۲ سانتیمتر از نمونه‌ها بریده و با ترازوی mettlor college 150 با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم وزن گردیدند. در استوانه مدرجی با حجم ۵۰ سی‌سی، دقیقاً ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته و بعد قطعات بریده شده در آن انداخته شدند و پس از تعیین میزان تغییرات حجم آب داخل استوانه، چگالی نمونه‌ها تعیین گردید.

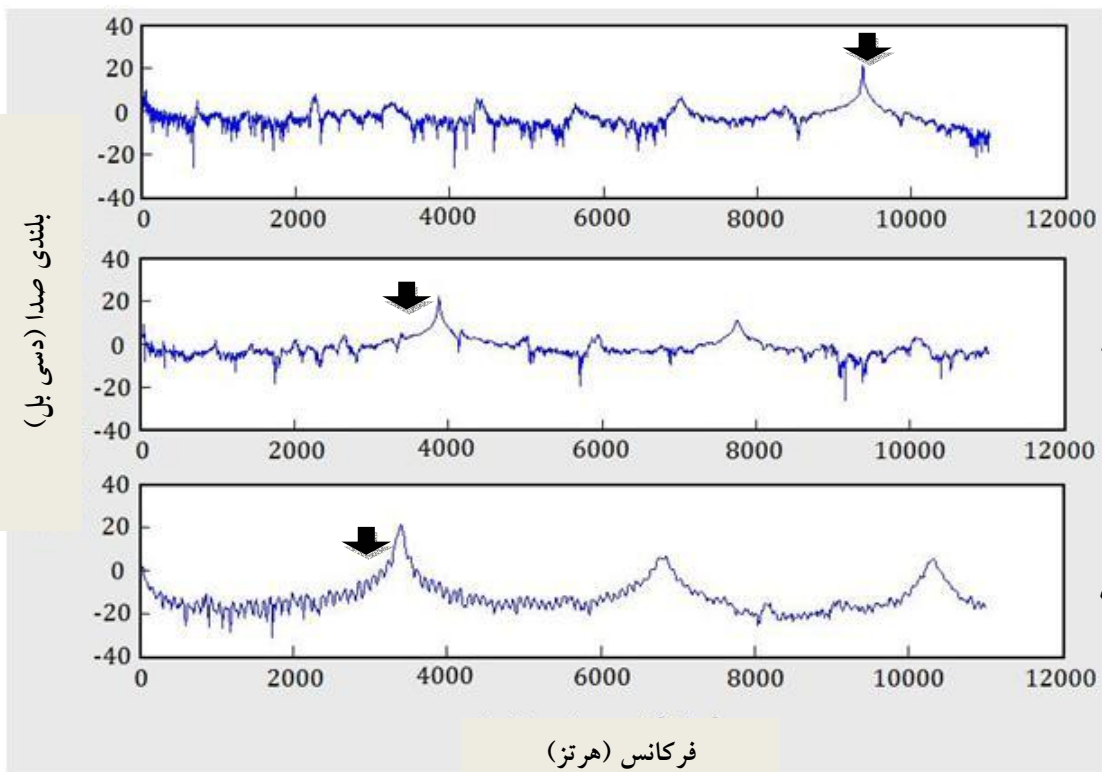
جذب آب

$$M = \left[\frac{M_t - M_0}{M_0} \right] \times 100 \quad (۹)$$

برای تعیین این عامل، استوانه‌هایی به طول ۲ سانتیمتر از نمونه‌ها بریده شد. در ادامه برای خشک شدن کامل، کلیه نمونه‌های بریده شده به مدت ۴۰ دقیقه در آون خشک در دمای ۸۰ درجه سانتیگراد قرار داده شدند، پس از سرد شدن



نمودار ۱- چگالی نمونه‌های الیاف کربن- رزین پلی استر، الیاف شیشه- رزین پلی استر، الیاف کنف- رزین پلی استر و دو نمونه شاهد از چوب درختان سرو و توت



نمودار ۲- بلندی صدا بر حسب فرکانس بدست آمده از تحلیل طیف سریع فوریه صدای ضبط شده برای نمونه‌های (۱) الیاف کربن- رزین پلی استر، (۲) الیاف شیشه- رزین پلی استر، (۳) الیاف کنف- رزین پلی استر

پیک اول مشاهده می‌گردد که البته برای آنالیز خواص آکوستیک با استفاده از آزمون ارتعاش آزاد طولی فقط همین پیک کافی می‌باشد (Roohnia, 2005).

مقادیر بدست آمده از تحلیل طیف سریع فوریه برای سرعت فراصوت در جهت طولی، مدول الاستیک طولی و مدول الاستیک ویژه طولی در نمونه‌های الیاف کربن-رزین پلی‌استر، الیاف شیشه-رزین پلی‌استر، الیاف کنف-رزین پلی‌استر و همچنین دو نمونه شاهد از چوب درختان سرو و توت در جدول ۳ نشان داده شده است.

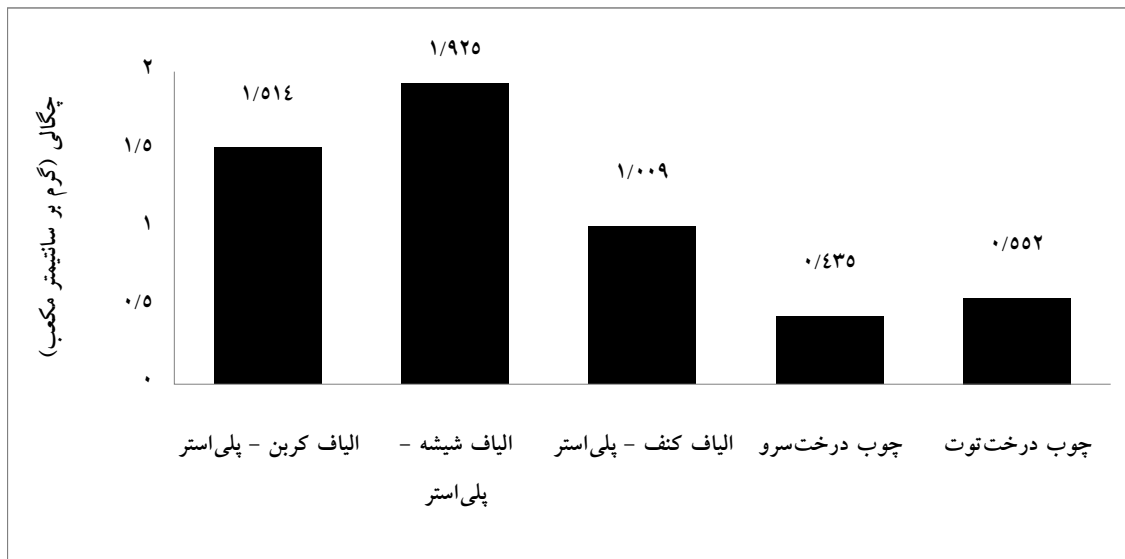
همان طور که ملاحظه می‌گردد در هر نمودار در فرکانسی خاص پیکی برجسته مشاهده می‌شود (که در شکل با فلش علامت‌گذاری شده است)، از آنجا که برای انجام شدن آزمون ارتعاش آزاد طولی به نمونه‌ها در راستای طولی ضربه زده شده است می‌توان نتیجه‌گیری کرد که فرکانس مرتبط با پیک اول مشاهده شده، اولین فرکانس رزونانس (تشدید) نمونه در راستای طولی است. البته باید توجه داشت که در راستای هر جسم بی‌نهایت فرکانس رزونانس وجود دارد ولی با توجه به محدودیت دستگاه در آنالیز فرکانس‌ها، فقط

جدول ۳- مقادیر سرعت فراصوت در جهت طولی، مدول الاستیک طولی و مدول الاستیک ویژه طولی

| الیاف کربن-رزین پلی‌استر | الیاف شیشه-رزین پلی‌استر | الیاف کنف-رزین پلی‌استر | چوب درخت سرو | چوب درخت توت | |
|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|--|
| ۱۱۴۲۳/۰۰ | ۴۷۲۶/۰۰ | ۴۱۵۶/۰۰ | ۳۷۶۹/۰۰ | ۴۶۷۰/۰۰ | سرعت فراصوت در جهت طولی (m/s) |
| ۱۹۷/۵۰ | ۴۳/۰۰ | ۱۷/۴۰ | ۶/۲۰ | ۱۲/۰۰ | مدول الاستیک در جهت طولی (GPa) |
| ۱۳۰/۴۵ | ۲۲/۳۴ | ۱۷/۲۵ | ۱۴/۲۱ | ۲۱/۸۱ | مدول الاستیک ویژه در جهت طولی (GPa) |

میزان ضرایب آکوستیک به دست آمده در نمونه‌های الیاف کربن-رزین پلی‌استر، الیاف شیشه-رزین پلی‌استر، الیاف کنف-رزین پلی‌استر به همراه دو نمونه شاهد از چوب درختان سرو و توت در نمودار ۳ نشان داده شده است.

همان طور که در جدول ۳ ملاحظه می‌گردد مقادیر فوق در نمونه‌های کامپوزیتی به خصوص نمونه الیاف کربن-رزین پلی‌استر به نسبت قابل توجهی بیشتر از نمونه‌های چوبی می‌باشد که این موضوع نشان‌دهنده توانایی ارتعاشی بالای این کامپوزیت‌ها به ویژه نمونه الیاف کربن-رزین پلی‌استر است.



نمودار ۳- ضرایب آکوستیک در نمونه‌های مورد آزمایش

مصرف می‌گردد. بطورکلی در ساخت صفحه فوقانی جعبه‌های تشدید، چوبی انتخاب می‌شود که اصطکاک داخلی کمتر و در نتیجه بازتاب صوتی بیشتری داشته باشد (Roohnia, ۲۰۰۵).

نتایج میرایی بدست‌آمده برای نمونه‌های کامپوزیتی (الیاف کربن- رزین پلی‌استر، الیاف شیشه- رزین پلی‌استر و الیاف کنف- رزین پلی‌استر) به‌همراه همین نتایج برای دو نمونه شاهد از چوب درختان سرو و توت در جدول ۴ نشان داده شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد مقادیر فاکتور کیفیت در نمونه‌های کامپوزیتی به‌ویژه نمونه الیاف کربن- رزین پلی‌استر بسیار فراتر از نمونه‌های شاهد چوبی است، به همین دلیل می‌توان انتظار داشت که ارتعاش ایجاد شده در نمونه‌های کامپوزیتی بسیار پایدارتر از نمونه‌های شاهد چوبی باشد.

به طوری که در نمودار ۳ دیده می‌شود کامپوزیت‌های پلیمری در این مورد نیز نتایج قابل قبولی را ایجاد نموده‌اند، که این موضوع در مورد کامپوزیت الیاف کربن- رزین پلی-استر محسوس‌تر است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد مقدار ضریب آکوستیک در کامپوزیت الیاف کربن و رزین پلی‌استر در حدود ۲۴۰ و تقریباً نزدیک ضریب آکوستیک نمونه‌های شاهد چوبی است. مقادیر ضریب آکوستیک و دیگر عامل‌های بحث شده نشان داد که نمونه الیاف کربن- رزین پلی‌استر توانایی ارتعاشی فوق‌العاده بالایی دارد و به همین دلیل می‌توان انتظار داشت که کاربرد آن در ساخت تخته صدای سازهای موسیقی کاملاً موفقیت‌آمیز باشد.

صدایی که از ارتعاش چوب ساطع می‌شود، به مرور میرا می‌شود که این ناشی از مصرف انرژی آکوستیکی ارتعاش آن است. انرژی آکوستیکی از طریق جذب صوت برای مقابله با اصطکاک داخلی که نتیجه آن آزاد شدن گرماست

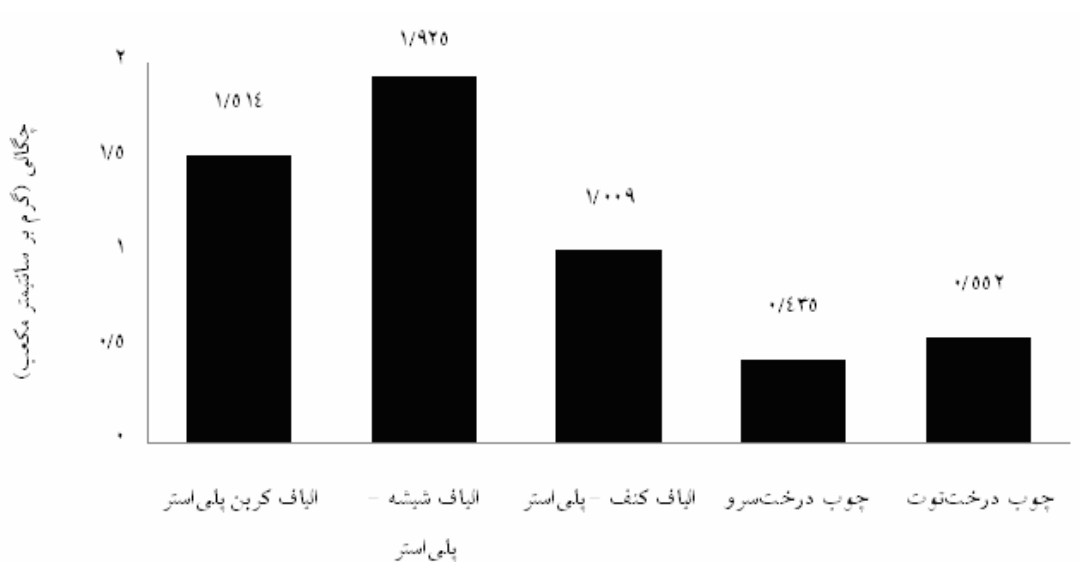
جدول ۴- مقادیر فاکتور کیفیت در نمونه‌های مورد آزمایش

| الیاف کربن-رزین | الیاف شیشه - | الیاف کنف-رزین | چوب | چوب درخت | فاکتور کیفیت (Q) |
|-----------------|---------------|----------------|----------|----------|------------------|
| پلی‌استر | رزین پلی‌استر | پلی‌استر | درخت سرو | توت | |
| ۱۶۶۶/۶۷ | ۳۸۴/۶۲ | ۵۸/۸۲ | ۷۱/۹۲ | ۷۴/۱۹ | |

صدای ساز موسیقی بیشتر می‌باشد، در این میان نتایج شگفت‌انگیز بدست آمده در مورد میرایی نمونه‌های کامپوزیتی به‌ویژه نمونه الیاف کربن-رزین پلی‌استر نشان‌دهنده طنین بسیار پایدار، ساز ساخته شده با آنها می‌باشد که در این میان این خاصیت بسیار بزرگ نمونه الیاف کربن-رزین پلی‌استر آن را به نمونه‌ای ایده‌آل برای تولید صفحه صدا در آلات موسیقی تبدیل کرده است، به طوری که با بکارگیری آن می‌توان بسیاری از مشکلات موسیقی را برطرف نمود.

مقادیر بدست آمده برای کارایی تبدیل آکوستیک در نمونه‌های الیاف کربن-رزین پلی‌استر، الیاف شیشه-رزین پلی‌استر، الیاف کنف-رزین پلی‌استر و دو نمونه شاهد از چوب درختان سرو و توت نیز در نمودار ۴ نشان داده شده است.

نتایج فوق نشان می‌دهد که میزان اصطکاک داخلی در نمونه‌های کامپوزیتی بسیار ناچیز می‌باشد. به طور کلی در یک جسم مرتعش، هر قدر میزان میرایی کمتر باشد به همان مقدار میزان مانایی ارتعاش یا به عبارت دیگر پایداری



نمودار ۴- مقادیر کارایی تبدیل آکوستیک در نمونه‌های مورد آزمایش

که از درختان مختلف و همچنین از قسمت‌های مختلف یک درخت تهیه شده بودند، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. جدول ۵ خواص آکوستیکی ۱۰ نمونه از نمونه‌های الیاف کربن و رزین پلی استر را که دستگاه و شرایط ساخت آنها و همچنین نوع مواد و ترکیب درصد آنها دقیقاً یکسان است، نشان می‌دهد.

در ادامه برای اینکه بتوان بررسی آماری دقیقی بر روی کلیه نمونه‌های آزمایش انجام داد از تمامی نمونه‌های کامپوزیتی که در شرایط اتوماسیون ماشینی و با ترکیب درصد مواد و شرایط ساخت کاملاً یکسان تهیه شده بودند، ۱۰ نمونه تهیه گردید و کلیه عامل‌های ذکر شده برای تمامی آنها اندازه‌گیری شد. همچنین برای بررسی آماری خواص آکوستیک نمونه‌های چوبی نیز از هر کدام از آنها ۱۰ نمونه

جدول ۵ - خواص آکوستیکی ۱۰ نمونه ساخته شده از الیاف کربن و رزین پلی‌استر

| نمونه اول | نمونه دوم | نمونه سوم | نمونه چهارم | نمونه پنجم | نمونه ششم | نمونه هفتم | نمونه هشتم | نمونه نهم | نمونه دهم | |
|-----------|-----------|-----------|-------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|-------------------------------------|
| ۱/۵۶ | ۱/۵۸ | ۱/۵۷ | ۱/۵۶ | ۱/۵۷ | ۱/۵۷ | ۱/۵۷ | ۱/۵۷ | ۱/۵۷ | ۱/۵۱ | چگالی (g/m^3) |
| ۱۱۳۰۹/۷ | ۱۱۳۹۱/۹۰ | ۱۱۳۸۳/۹۰ | ۱۱۳۹۰/۷۰ | ۱۱۳۸۴/۲۰ | ۱۱۳۰۳/۳۱ | ۱۱۳۵۱/۶۰ | ۱۱۳۶۷/۱۰ | ۱۱۳۱۹/۳۰ | ۱۱۴۲۳/۰۰ | سرعت فراصوت در جهت طولی (m/s) |
| ۱۹۹/۴۷ | ۲۰۵/۰۲ | ۲۰۲/۸۲ | ۲۰۲/۹۱ | ۲۰۳/۶۹ | ۲۰۰/۳۷ | ۲۰۱/۶۷ | ۲۰۳/۱۴ | ۲۰۱/۷۳ | ۱۹۷/۵۰ | مدول الاستیک در جهت طولی (GPa) |
| ۱۲۷/۸۷ | ۱۲۹/۷۶ | ۱۲۹/۱۹ | ۱۳۰/۰۷ | ۱۲۹/۷۴ | ۱۲۷/۶۲ | ۱۲۸/۴۵ | ۱۲۹/۳۹ | ۱۲۸/۴۹ | ۱۳۰/۷۹ | مدول الاستیک ویژه در جهت طولی (Gpa) |
| ۲۲۹/۳۴ | ۲۲۸/۰۳ | ۲۳۰/۰۲ | ۲۳۰/۳۳ | ۲۲۹/۰۶ | ۲۲۸/۰۳ | ۲۲۹/۳۷ | ۲۲۸/۶۴ | ۲۲۷/۳۵ | ۲۳۸/۵۰ | ضریب آکوستیک |
| ۰/۰۰۰۸۵ | ۰/۰۰۰۷۷ | ۰/۰۰۰۵۹ | ۰/۰۰۰۷۰ | ۰/۰۰۰۶۴ | ۰/۰۰۰۷۷ | ۰/۰۰۰۶۹ | ۰/۰۰۰۹۹ | ۰/۰۰۰۶۶ | ۰/۰۰۰۵۹ | فاکتور میرایی |
| ۱۱۷۲/۷۵ | ۱۲۹۵/۱۷ | ۱۶۹۱/۷۶ | ۱۴۲۲/۰۷ | ۱۵۶۸/۳۸ | ۱۳۰۵/۸۲ | ۱۴۵۲/۲۲ | ۱۰۰۸/۳۷ | ۱۵۱۹/۵۳ | ۱۶۶۶/۹۴ | فاکتور کیفیت |
| ۲۶۸۹۶۲ | ۲۹۵۳۵۳ | ۳۸۹۱۴۲ | ۳۲۷۵۵۰ | ۳۵۹۲۶۶ | ۲۹۷۷۷۵ | ۳۳۳۰۷۰ | ۲۳۰۵۵۹ | ۳۴۵۴۶۵ | ۳۸۰۷۲۴ | کارایی تبدیل صوتی |

جدول ۶ خواص آکوستیکی ۱۰ نمونه از نمونه‌های الیاف شیشه و رزین پلی‌استر را که دستگاه و شرایط ساخت آنها و همچنین نوع مواد سازنده و ترکیب درصد آنها دقیقاً یکسان است، نشان می‌دهد.

جدول ۶ - خواص آکوستیکی ۱۰ نمونه ساخته شده از الیاف شیشه و رزین پلی‌استر

| نمونه اول | نمونه دوم | نمونه سوم | نمونه چهارم | نمونه پنجم | نمونه ششم | نمونه هفتم | نمونه هشتم | نمونه نهم | نمونه دهم | |
|-----------|-----------|-----------|-------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|-------------------------------------|
| ۱/۹۳ | ۱/۹۸ | ۱/۹۶ | ۱/۹۳ | ۱/۹۹ | ۲/۰۲ | ۱/۹۶ | ۱/۹۷ | ۱/۹۹ | ۱/۹۲ | چگالی (g/m^3) |
| ۴۷۱۳/۶۰ | ۴۷۱۶/۹۳ | ۴۷۱۷/۰۸ | ۴۷۰۲/۰۶ | ۴۷۰۳/۶۳ | ۴۷۲۷/۱۸ | ۴۷۱۲/۳۴ | ۱۴۱۲/۴۶ | ۴۷۱۶/۸۳ | ۴۷۱۴/۰۹ | سرعت فراصوت در جهت طولی (m/s) |
| ۴۲/۹۴ | ۴۴/۰۳ | ۴۳/۵۷ | ۴۲/۶۹ | ۴۳/۹۶ | ۴۵/۰۱ | ۴۳/۵۸ | ۴۳/۷۴ | ۴۴/۲۷ | ۴۲/۶۱ | مدول الاستیک در جهت طولی (GPa) |
| ۲۲/۲۵ | ۲۲/۲۴ | ۲۲/۲۳ | ۲۲/۱۲ | ۲۲/۱۰ | ۲۲/۲۸ | ۲۲/۲۳ | ۲۲/۲۰ | ۲۲/۲۵ | ۲۲/۱۹ | مدول الاستیک ویژه در جهت طولی (Gpa) |
| ۷۷/۱۳ | ۷۵/۳۷ | ۷۷/۱۹ | ۷۷/۰۱ | ۷۴/۸۶ | ۷۴/۰۷ | ۷۵/۹۳ | ۷۵/۶۵ | ۷۴/۹۵ | ۷۷/۷۵ | ضریب آکوستیک |
| ۰/۰۰۲۷۹۲ | ۰/۰۰۲۶۷۲ | ۰/۰۰۳۷۶۳ | ۰/۰۰۳۳۸۲ | ۰/۰۰۲۵۴۱ | ۰/۰۰۲۱۱۶ | ۰/۰۰۲۰۵۸ | ۰/۰۰۲۴۳۸ | ۰/۰۰۲۹۰۶ | ۰/۰۰۲۴۴۰ | فاکتور میرایی |
| ۳۵۸/۱۷ | ۳۷۴/۲۵ | ۲۶۵/۷۵ | ۲۹۵/۶۸ | ۳۹۳/۵۵ | ۴۷۲/۵۹ | ۴۸۵/۹۱ | ۴۱۰/۱۷ | ۳۴۴/۱۲ | ۴۰۹/۸۴ | فاکتور کیفیت |
| ۲۷۶۲۲/۲۱ | ۲۸۲۰۸/۴۰ | ۲۰۲۴۶/۰۶ | ۲۲۷۷۱/۹۸ | ۲۹۴۵۷/۶۳ | ۳۵۰۰۰/۲۸ | ۳۶۸۸۹/۹۸ | ۳۱۰۲۵/۸۹ | ۲۵۷۹۳/۸۴ | ۳۳۲۲۸/۸۶ | کارایی تبدیل صوتی |

جدول ۷ خواص آکوستیکی ۱۰ نمونه از نمونه‌های الیاف کنف و رزین پلی‌استر را که دستگاه و شرایط ساخت آنها و همچنین نوع و ترکیب درصد آنها دقیقاً یکسان است، نشان می‌دهد.

جدول ۷- خواص آکوستیکی ۱۰ نمونه ساخته شده از الیاف کنف و رزین پلی‌استر

| نمونه اول | نمونه دوم | نمونه سوم | نمونه چهارم | نمونه پنجم | نمونه ششم | نمونه هفتم | نمونه هشتم | نمونه نهم | نمونه دهم | |
|-----------|-----------|-----------|-------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|-------------------------------------|
| ۱/۰۴ | ۱/۰۵ | ۱/۰۵ | ۱/۰۹ | ۱/۰۳ | ۱/۰۲ | ۱/۰۲ | ۱/۰۳ | ۱/۰۲ | ۱/۰۱ | چگالی (g/m^3) |
| ۴۲۱۲/۵۰ | ۴۲۱۶/۹۰ | ۴۱۰۱/۴۰ | ۴۱۵۸/۹۰ | ۴۱۵۹/۸۰ | ۴۰۹۴/۷۰ | ۴۱۸۶/۵۰ | ۴۱۱۴/۶۰ | ۴۱۴۳/۶۰ | ۴۱۵۶/۰۰ | سرعت فراصوت در جهت طولی (m/s) |
| ۱۸/۳۷ | ۱۸/۷۱ | ۱۷/۷۳ | ۱۸/۹۴ | ۱۷/۷۶ | ۱۷/۱۵ | ۱۷/۹۱ | ۱۷/۵۰ | ۱۷/۴۳ | ۱۷/۴۰ | مدول الاستیک در جهت طولی (GPa) |
| ۱۷/۶۶ | ۱۷/۸۲ | ۱۶/۸۹ | ۱۷/۳۸ | ۱۷/۲۴ | ۱۶/۸۱ | ۱۷/۵۶ | ۱۶/۹۹ | ۱۷/۰۹ | ۱۷/۲۳ | مدول الاستیک ویژه در جهت طولی (Gpa) |
| ۱۲۸/۶۹ | ۱۲۶/۷۸ | ۱۲۳/۰۴ | ۱۲۰/۱۲ | ۱۲۸/۱۹ | ۱۲۶/۵۶ | ۱۲۹/۵۲ | ۱۲۵/۸۴ | ۱۲۹/۰۵ | ۱۳۰/۳۰ | ضریب آکوستیک |
| ۴۶/۲۳ | ۶۰/۲۷ | ۵۰/۴۳ | ۶۰/۷۸ | ۶۷/۳۲ | ۵۷/۸۳ | ۶۲/۱۲ | ۶۴/۷۰ | ۵۹/۹۲ | ۵۸/۸۲ | فاکتور میرایی |
| ۰/۰۲۱۷ | ۰/۰۱۶۶ | ۰/۰۱۹۸ | ۰/۰۱۶۵ | ۰/۰۱۴۹ | ۰/۰۱۷۳ | ۰/۰۱۶۱ | ۰/۰۱۵۵ | ۰/۰۱۶۷ | ۰/۰۱۷۰ | فاکتور کیفیت |
| ۵۹۴۹/۳ | ۷۶۴۱/۰۰ | ۶۲۰۴/۹۰ | ۷۳۰۰/۹۰ | ۸۶۲۹/۸۰ | ۷۳۱۸/۹۰ | ۸۰۴۵/۸۰ | ۸۱۴۱/۸۰ | ۷۷۳۲/۷۰ | ۷۶۶۴/۲۰ | کارایی تبدیل صوتی |

جدولهای ۸ و ۹ که برگرفته از تحقیق سابق یکی از نویسندگان مقاله می باشد، به ترتیب خواص آکوستیک گونه های مختلف از چوب درخت سروسیمین و توت سفید را که از درختان مختلف و همچنین قسمت های مختلف درختان انتخاب شده می باشد، نشان می دهد (Roohnia, ۲۰۰۵).

جدول ۸- خواص آکوستیکی ۱۰ نمونه انتخاب شده از چوب درخت سروسیمین

| نمونه اول | نمونه دوم | نمونه سوم | نمونه چهارم | نمونه پنجم | نمونه ششم | نمونه هفتم | نمونه هشتم | نمونه نهم | نمونه دهم | |
|-----------|-----------|-----------|-------------|------------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|-------------------------------------|
| ۰/۴۳۵ | ۰/۴۰۱ | ۰/۴۰۸ | ۰/۴۵۱ | ۰/۴۷۷ | ۰/۳۸۲ | ۰/۳۸۱ | ۰/۴۲۱ | ۰/۵۰۳ | ۰/۵۰۹ | چگالی (g/m^3) |
| ۳۷۶۹/۲۰ | ۳۹۶۵/۶۴ | ۴۱۸۷/۸۳ | ۴۳۵۸/۱۴ | ۴۳۵۲/۶۲ | ۴۳۵۲/۶۱ | ۴۳۵۵/۲۴ | ۴۵۲۳/۴۵ | ۴۶۴۵/۷۸ | ۴۵۸۸/۸۲ | سرعت فراصوت در جهت طولی (m/s) |
| ۶/۱۸ | ۶/۳۱ | ۷/۱۶ | ۸/۵۷ | ۹/۰۴ | ۷/۲۴ | ۷/۲۳ | ۸/۶۱ | ۱۰/۸۶ | ۱۰/۷۲ | مدول الاستیک در جهت طولی (GPa) |
| ۱۴/۲۱ | ۱۵/۷۳ | ۱۷/۵۴ | ۱۸/۹۹ | ۱۸/۹۵ | ۱۸/۹۵ | ۱۸/۹۷ | ۲۰/۴۶ | ۲۱/۵۸ | ۲۱/۰۶ | مدول الاستیک ویژه در جهت طولی (Gpa) |
| ۲۷۴/۰۱ | ۳۱۲/۷۳ | ۳۲۴/۵۹ | ۳۰۵/۵۸ | ۲۸۸/۵۶ | ۳۶۰/۳۲ | ۳۶۱/۴۸ | ۳۳۹/۷۷ | ۲۹۲/۰۷ | ۱۸۵/۰۹ | ضریب آکوستیک |
| ۰/۰۱۳۹۰ | ۰/۰۱۲۵۹ | ۰/۱۱۷۲ | ۰/۰۱۲۱۳ | ۰/۰۱۱۹۳ | ۰/۰۱۰۵۷ | ۰/۰۱۳۲ | ۰/۰۱۳۵ | ۰/۰۱۰۴۹ | ۰/۰۱۰۸۸ | فاکتور میرایی |
| ۷۱/۹۲ | ۷۹/۴۶ | ۸۵/۳۴ | ۸۲/۴۵ | ۸۳/۸۵ | ۹۴/۶۰ | ۸۸/۳۵ | ۸۸/۱۲ | ۹۵/۳۲ | ۹۱/۹۴ | فاکتور کیفیت |
| ۷۵۰/۷۹ | ۹۷۸۰۰ | ۱۰۵۳۵۶ | ۹۳۳۷۹ | ۸۳۲۶۵ | ۱۲۹۸۲۹ | ۱۳۰۶۷۰ | ۱۱۵۴۴۵ | ۸۵۳۰۶ | ۸۱۲۷۷ | کارایی تبدیل صوتی |

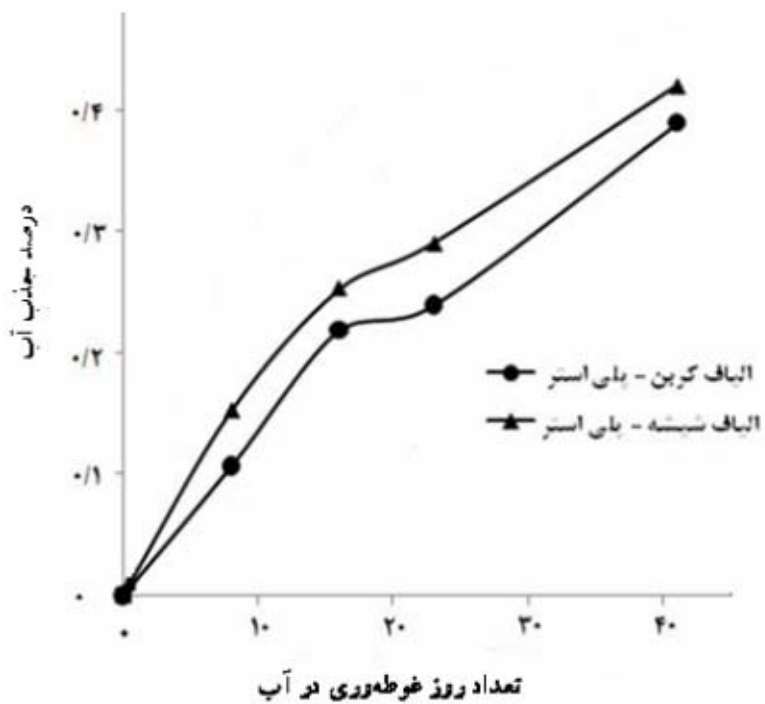
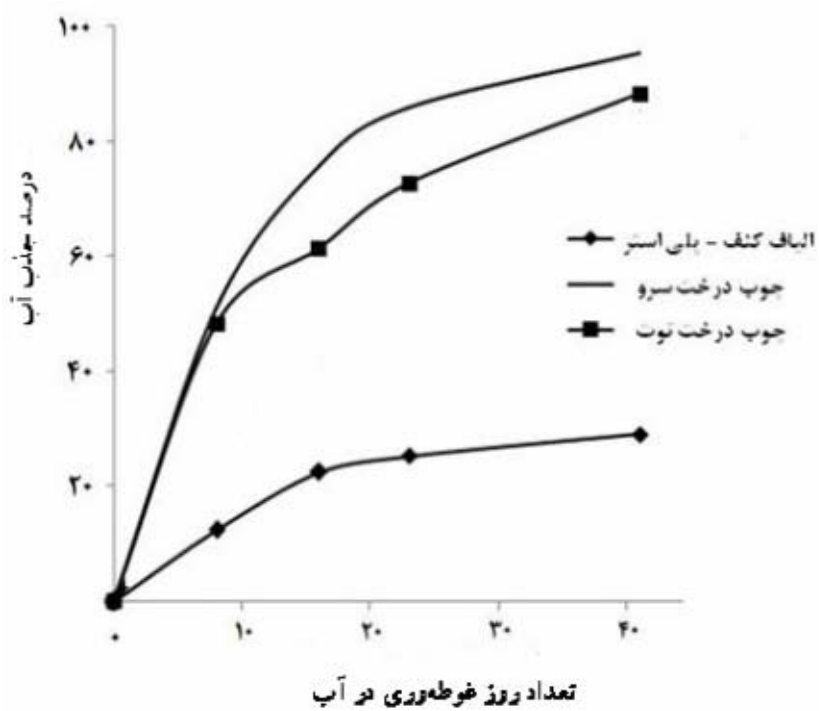
همان طور که ملاحظه می‌گردد خواص آکوستیکی نمونه‌های کامپوزیتی تقریباً ثابت بوده و با تغییر نمونه، با توجه به اینکه مواد سازنده و ترکیب درصدی آنها و همچنین دستگاه و شرایط ساخت آنها دقیقاً یکسان می‌باشد، خواص آکوستیکی تغییرات بسیار ناچیزی دارد و علت این تغییر ناچیز نیز امکان جهت‌گیری متفاوت الیاف و همچنین امکان گره‌خوردگی الیاف و یا امکان خیس شدن متفاوت الیاف توسط رزین می‌باشد. ولی با این حال نوسان داده‌ها در نمونه‌های کامپوزیتی به قدری کم است که با نگاهی گذرا، خواننده درمی‌یابد که تمامی این داده‌ها متعلق به یک گروه آماری بوده، بگونه‌ای که نیازی به استفاده از روش‌های آنالیز آماری نظیر آزمون ANOVA احساس نمی‌شود. این درحالیست که بررسی نوسان داده‌ها در نمونه‌های چوبی نشان می‌دهد که خواص آکوستیک یک نمونه چوب خاص در درختان مختلف از یک گونه و همچنین در قسمت‌های مختلف از چوب یک درخت بسیار وسیع بوده و نتایج بدست‌آمده بسیار متغیر می‌باشند. این پدیده یکی از مشکلات اساسی چوب برای کاربرد در ساخت آلات موسیقی است، زیرا خواص چوب در درختان مختلف از یک گونه و همچنین در قسمت‌های مختلف یک درخت متفاوت بوده، و به همین دلیل سازنده ساز قبل از اتمام ساخت ساز نمی‌تواند پیش‌بینی دقیقی از صدای ساز ساخته شده داشته باشد. این درحالیست که به‌کارگیری کامپوزیت‌های پلیمری برای ساخت آلات موسیقی کاملاً این مشکل را بر طرف می‌نماید، به طوری که با استفاده از کامپوزیت‌های پلیمری می‌توان سازی مهندسی که خواص

آن دقیقاً از پیش تعیین شده می‌باشد را تولید نمود.

بررسی جذب آب نمونه‌ها

یکی از مشکلات دیگر سازهای چوبی جذب رطوبت بسیار بالای چوب می‌باشد، بطوری‌که در محیط‌های مرطوب چوب رطوبت را جذب می‌کند و همین سبب صدادهی بسیار بد سازهای چوبی در این محیط‌ها می‌گردد. حال با تغییر مجدد شرایط، چوبی که رطوبت را به خود گرفته، در هنگام خشک شدن مقداری تغییر شکل می‌دهد که باعث بروز مشکلاتی در سازهای چوبی می‌شود (Kootsookos و Mouritz، ۲۰۰۴). در این میان با توجه به اینکه آزمون غوطه‌وری نمونه در آب محک بسیار سخت‌تری را بر روی نمونه‌ها در مقایسه با قراردادن نمونه‌ها در محیط‌های مرطوب (که یقیناً تمام کامپوزیت‌ها آن را می‌گذرانند) وارد می‌نماید، از این روش برای اندازه‌گیری میزان جذب رطوبت نمونه‌ها استفاده شد. در نمودار ۵ میزان جذب آب بدست آمده برای نمونه‌های کامپوزیتی در زمان‌های مختلف در نمودار ۵ رسم شد. همچنین در این نمودار درصد جذب آب دو نمونه شاهد چوب نیز نشان داده شده است.

با توجه به اختلاف بسیار زیاد جذب آب نمونه‌های کامپوزیتی و نمونه‌های شاهد چوبی، همان‌گونه که در نمودار با فلش نشان داده شده است، نمودار عمودی سمت راست نشان دهنده جذب آب نمونه‌های الیاف کربن-رزین پلی‌استر و الیاف شیشه-رزین پلی‌استر می‌باشد و نمودار عمودی سمت چپ نشان‌دهنده درصد جذب آب نمونه‌های الیاف کف-رزین پلی‌استر و دو نمونه شاهد چوبی است.



نمودار ۵- جذب آب بدست آمده برای نمونه‌های آزمایشی

صدادهی سازهای کامپوزیتی به ویژه سازهای ساخته شده با الیاف کربن- پلی استر و الیاف شیشه- پلی استر، هیچ تأثیری نخواهد داشت.

یکی دیگر از محاسن بسیار بزرگ استفاده از کامپوزیت-ها در ساخت آلات موسیقی، ساخت سازهایی مهندسی که صدادهی آنها از قبل پیش بینی شده، می باشد. بنابر مطالب بیان گردیده در مقاله، باتوجه به خواص مواد اولیه مورد استفاده و همچنین ترکیب درصدهای آنها، می توان خواص آکوستیک کامپوزیت مربوطه را براحتی پیش بینی نمود. یعنی می توان با انتخاب مناسب مواد اولیه و همچنین ترکیب درصد مناسب، امکان ساخت سازی باخواص از پیش تعیین شده را میسر نمود. مطالعات نشان داده است که با بررسی های فیزیکی می توان تشخیص داد که برای خلق صداهای جدید چه خواص آکوستیکی مورد نیاز می باشد (Parry, ۱۹۶۵)، که در این میان با تغییر میزان ترکیب درصدها و حتی با ساخت کامپوزیت هایی که در آنها چندین الیاف مختلف بکار رفته است^۱، می توان به راحتی به آن مقادیر خاص رسید. در این میان تنوع بسیار وسیع موجود در مواد اولیه کامپوزیت ها امکان رسیدن به هر خواصی را برای ما میسر می سازد، به طوری که با استفاده از الیاف کربن مدول بالا^۲ می توان به کامپوزیتی با مدول بسیار بالا و حتی بیشتر از ۷۰۰ GPa دست یافت. این یکی از قابلیت های بسیار بزرگ کامپوزیت ها است که می تواند سبب ایجاد تحولاتی بسیار بزرگ در موسیقی و حتی منجر به تولید

همان طور که در نمودار ۵ نشان داده شده است میزان جذب آب کامپوزیت های پلیمری، حتی پس از مدت های طولانی قرارگیری در آب، بسیار کمتر و غیر قابل مقایسه با چوب می باشد. با توجه به نمودار بالا و جذب آب بسیار اندک کامپوزیت های پلیمری پس از مدت های طولانی غوطه وری در آب، می توان مطمئن بود که تأثیر رطوبت محیط که بسیار کمتر از غوطه وری در آب می باشد، بر روی کامپوزیت های پلیمری بسیار ناچیز و قابل اغماض می باشد.

البته همان گونه که مشاهده می شود میزان جذب آب نمونه های کامپوزیتی نیز تا حدودی متفاوت بوده که در این میان کامپوزیت های الیاف کربن- رزین پلی استر و الیاف شیشه- رزین پلی استر برتری محسوس نسبت به کامپوزیت الیاف کف- رزین پلی استر دارند که علت این پدیده جذب آب بالای الیاف طبیعی کف به نسبت دو لیف کربن و شیشه می باشد (Selke و Wichman, ۲۰۰۴). ولی به طور کلی نکته ای که در بین تمام کامپوزیت های فوق مشهود می باشد جذب آب بسیار کمتر آنها نسبت به نمونه های شاهد چوبی است.

مطالعات نشان داده است که بین میزان جذب آب و اُفت خواص مکانیکی ارتباط مستقیمی وجود دارد، به طوری که با افزایش میزان جذب آب در یک نمونه، به همان میزان اُفت خواص مکانیکی و به پیرو آن اُفت خواص آکوستیک مشاهده می گردد (Visco و همکاران، ۲۰۰۸). حال با بررسی شرایط کارکرد سازهای موسیقی که با توجه به آب و هوای هر منطقه ممکن است برای مدت های طولانی در شرایط مرطوب قرار بگیرند و باتوجه به نتایج ذکر شده در نمودار ۵ می توان مطمئن بود که رطوبت موجود در هوا بر روی

1- Hybrid composite
2 -High modulus carbon fiber

نمونه الیاف کربن- رزین پلی‌استر بسیار شگفت‌انگیز گزارش شد. حال باتوجه به نتایج فوق و معایب کاربرد چوب برای ساخت آلات موسیقی از جمله: حساسیت بالای آن به رطوبت و شرایط محیطی، سختی و زمانبر بودن ساخت‌ساز، فراینددستی و غیرمکانیزه تولیدساز، امکان تغییر خواص چوب با گذشت زمان، قیمت سرسام‌آور و بسیار بالای سازهای چوبی و ...، لزوم بکارگیری کامپوزیت‌های پلیمری برای تولید آلات موسیقی را اجتناب‌ناپذیر می‌کند که در این میان با کاربرد این مواد بجای چوب می‌توان سازی مهندسی با خواص از پیش تعیین شده که مشکلات سازهای چوبی را ندارد، در زمانی بسیار کم، طی فرایندی صنعتی با اجرت ساختی کمتر از سازهای چوبی تولید نمود.

منابع مورد استفاده

- امیدیان، ح.، ۱۳۸۰. مواد پلاستیک، جلد دوم (ترجمه). انتشارات مرکز نشر دانشگاهی.
- پیرایش‌فر، ا.س. و موسوی، س.ی.، ۱۳۸۸. بررسی خواص آکوستیک کامپوزیت‌های لیفی بر پایه رزین اپوکسی. فصلنامه علمی پژوهشی هنر ۷۹: ۲۰۴-۲۱۴.
- توانا، ح.، ۱۳۷۷. الیاف بشر ساخته. انتشارات ارکان.
- مجیدی ذوالبنین، ح.، ۱۳۷۰. ارتعاشات و امواج. انتشارات دانشگاه علم و صنعت.
- موسوی، س.ی. و پیرایش‌فر، ا.س.، ۱۳۸۷. کامپوزیت‌های پلیمری در خدمت موسیقی. فصلنامه علمی پژوهشی هنر، ۷۵: ۲۸۰-۲۹۶.
- Brancheriau, L. and Bailleres, H., 2002. Natural vibration analysis of clear wooden beams: a theoretical review. *Journal of Wood Science and Technology*, Springer-Verlag.
- Davis, S.J., Janes, R., Bash, C.M. and Chou. P.J.C., 1994. One piece composite guitar body. United State Patent 6,683,236 B2
- Dhakal, H.N., Zhang, Z.Y. and Richardson. M.O.W., 2007. Effect of water absorption on the mechanical

سازهای جدید گردد. این‌درحالیست که انجام چنین فعالیت‌هایی با استفاده از چوب غیرممکن می‌باشد.

یکی از برجستگی‌های چوب برای استفاده در سازهای موسیقی، وجود نقش و نگارهای زیبا در آن می‌باشد که همین سبب تولید سازهای زیبا می‌گردد. این‌درحالیست که کامپوزیت‌های پلیمری نیز از زیبایی خاص خود برخوردارند، به عنوان مثال، ساز ساخته شده با الیاف شیشه بسیار زیبا و همچون کریستال شفاف می‌باشند. همچنین به دلیل خصوصیات بیان‌گردیده، در کامپوزیت‌های پلیمری، سازنده ساز از آزادی‌های بسیار زیادی برخوردار می‌باشد، به طوری که می‌تواند با وارد کردن یک لایه نازک از پارچه ابریشمی در لایه بیرونی ساز، سازی با زیبایی‌های شگفت‌انگیز را وارد بازار موسیقی نماید. در این مورد باتوجه به مطالب بیان شده می‌توان اثبات نمود که این لایه نازک تأثیر چندانی در صدادهی ساز نخواهد داشت و یا با ایجاد تغییراتی بسیار جزئی در انتخاب مواد و نحوه چیدمان آنها، می‌توان به راحتی آن اثر جزئی را نیز از بین برد.

بحث

در این پژوهش خواص آکوستیک کامپوزیت‌های پلیمری بر پایه رزین پلی‌استر (الیاف کربن- رزین پلی‌استر، الیاف شیشه- رزین پلی‌استر و الیاف کنف- رزین پلی‌استر) بررسی و نتایج بدست‌آمده با خواص چوب درختان توت و سرو که کاربردهای بسیار زیادی در ساخت آلات موسیقی دارند، مقایسه گردید. بررسی نتایج بدست‌آمده نشان داد که کامپوزیت‌های فوق‌کارایی بسیار بالایی برای جایگزینی چوب در آلات موسیقی دارند، به طوری که خواص صوتی

- Islamic Azad University Campus of Science and Researches.
- Rujinirun, C., Phinyocheep, P., Prachyabrued, W. and Laemsak, N., Chemical treatment of wood for musical instruments. Part I: acoustically important properties of wood for the Ranad. *Journal of Wood Science and Technology*, 39(1).
 - Selke, S.E. and Wichman, I., 2004. Wood fiber/polyolefin composites. *Journal of Composites: Part A*, 35: 321–326.
 - Visco, A.M., Calabrese, L. and Cianciafara, P., 2008. Modification of polyester resin based composites induced by seawater absorption. *Journal of Composites: Part A*, 39: 805–814.
 - Wegst, U.G.K., 2006. Wood for sound. *American journal of Botany*, 93, 1438-1448.
 - Wessel, J.K., 2004. Handbook of Advanced Materials. In: Shaffer, J., Philippidis, T.P. and Vassilopoulos, A.P., Chapter1. John Wiley & Sons, Inc.
 - properties of hemp fiber reinforced unsaturated polyester composites. *Journal of Composites Science and Technology*, 67; 1674–1683.
 - Janes, R. and Cumpiano, W.R., 2004. Compression molded composite guitar soundboard. United State Patent 5333527.
 - Kootsookos, A. and Mouritz A.P., 2004. Seawater durability of glass and carbon polymer composites. *Journal of Composite Science Technology*, 64:1503–1511.
 - Liang, K., Oakley, C., Huebner, W. and Kunkel. H., 1999. Acoustic characterization of ultrasonic transducer materials: II. The effect of curing agent in binary epoxy blends on acoustic properties, *Ultrasonics* 37; 201-207.
 - Parry, W., 1965. A Music Course for Students. Oxford Universit Press.
 - Pedgley, O., Norman, E. and Armstrong. R., 2009. Materials-inspired innovation for acoustic guitar design. *Journal of METU JFA*, 26(1): 157-175.
 - Roohnia, M. 2005. Ph.D. Thesis: Study on Some Factors Affecting Acoustic Coefficient and Damping Properties of Wood Using Nondestructive Tests.

Designing and manufacturing of polyester composites reinforced with natural and synthetic fibers as an alternative for the wood in music instruments

Eskandari Jam, J.¹, Pirayeshfar, A.S.², Jalili, M.M.^{3,*},
Mousavi, S.Y.⁴ and Roohnia, M.⁵

1- Associated Professor, composite center and Islamic Azad University- Science and Research Branch, Tehran

2 –B.Sc., Department of Polymer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3*- Corresponding author, Assistant professor, Department of Polymer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran Email: m.jalili@srbiau.ac.ir

4-B.Sc., Composite center and Islamic Azad University- Science and Research Branch, Engineering and Technical Faculty

5- Associated Professor, Islamic Azad University- Karaj Branch, Karaj

Received: Feb., 2010

Accepted: Oct., 2011

Abstract

In this study, three composites (Carbon fiber- Polyester resin, Glass fiber-Polyester resin and Hemp fiber-Polyester resin) are designed as a substitute for the wood in music instruments and their acoustic properties such as elastic modulus, acoustic coefficient, and acoustic coefficient efficiency are investigated. For better evaluation of the results, two wood specimens from *Cupressus arizonica* and *Morus Alba* trees (which are using in many acoustic applications) were chosen and analyzed as control samples. The results show that the resultant composites possess essential acoustic and vibrational properties so that the result for Carbon fiber-Polyester composite exhibits tremendous acoustic properties than wood samples did. In this paper, the water absorption of resultant composites and wood samples were also measured. The results demonstrate that composites specimens could resist against humidity much better than wood samples.

Keywords: Carbon fiber; Glass fiber; Hemp fiber; polyester resin; Acoustic properties; *Cupressus arizonica* and *Morus alba* tree woods; water absorption