

کامپوزیت های پلیمری جایگزین چوب برای ساخت آلات موسیقی

امیر سهیل پیرایش فر^۱، دکتر محمدمهدی جلیلی^{۲*}، سید یحیی موسوی^۳

^۱ کارشناس پلیمر، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

^۲ استادیار دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

^۳ کارشناس پلیمر، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۸۸/۸/۲، تاریخ پذیرش نهایی: ۸۹/۳/۱)

چکیده:

در این پژوهش معایب چوب برای کاربرد در ساخت آلات موسیقی از جمله حساسیت بالا به رطوبت، خواص متفاوت چوب در درخت های مختلف از یک گونه و همچنین در قسمت های مختلف از یک درخت، ساخت زمان بر و مشکل سازهای چوبی، مقاوت پایین در برابر ضربه و سایر موارد که به صورت مفصل به آنها پرداخته شده است، مورد بررسی قرار گرفت و نسل جدید کامپوزیت های پلیمری برای جایگزینی چوب در ساخت ادوات موسیقی معرفی شد. بکارگیری کامپوزیت های چوب پلاستیک برای جایگزینی چوب در ساخت آلات موسیقی می تواند بسیاری از مشکلات ذاتی چوب برای کاربرد در ساخت آلات موسیقی را بر طرف نماید، با این حال برای ساخت تخته صدای کامپوزیتی استفاده از کامپوزیت های لیفی که ساختاری دقیقاً مشابه چوب دارند، به دلیل خواص ارتعاشی و آکوستیکی ویژه آنها، رشد بسیاری نموده است. در این مقاله از سه نوع مختلف الیاف مصنوعی (الیاف شیشه، کربن و کولار) و یک رزین پلی استر غیر اشباع استفاده گردید. همچنین خواص آکوستیک این نمونه ها در قیاس با نمونه های چوب درخت توت سفید و سرو سیمین مورد بررسی قرار گرفت. مطالعات نشان داد که الیاف کربن به همراه رزین پلی استر بالاترین پارامتر های آکوستیکی را در بین سایر نمونه ها به خود اختصاص می دهد و در نتیجه می تواند به عنوان یک جایگزین بسیار خوب برای چوب با خواص استثنایی در ساخت آلات موسیقی به کار رود.

واژه های کلیدی:

آلات موسیقی، چوب، کامپوزیت های پلیمری، الیاف مصنوعی، الیاف طبیعی.

مقدمه

موسیقی خارج است.

مشکلات کیفی و مباحث اقتصادی مطرح شده دنیا را بر آن داشت تا جایگزین مناسبی برای چوب در ساخت آلات موسیقی بیابد، بدین منظور تحقیقات علمی و عملی در این زمینه آغاز گردید و نهایتاً محصولاتی کامپوزیتی به بازار عرضه گردید. 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 (موسوی و پیرایش فر، ۱۳۸۷، ۲۸۸؛ پیرایش فر و موسوی، ۱۳۸۸، ۲۰۴؛ پیرایش فر و همکاران، ۱۳۸۹، ۱؛ Davis & colleagues, 2004, 1):

۱. داشتن استحکام بسیار بالا؛
۲. اصلاح تاثیر پذیری از رطوبت؛
۳. کوتاه کردن مدت زمان تولید ساز
۴. توانایی تنظیم و اصلاح خواص آکوستیک کامپوزیت برای دستیابی به صدایی مطلوب و دلنشین؛
۵. ایجاد خواص گرمایی اصلاح شده (چوب به تنهایی از مقاوت گرمایی نسبتاً پایینی برخوردار است ولی این کامپوزیت‌ها می‌توانند خواص خود را در محدوده دمایی بسیار بالایی حفظ کنند)؛
۶. قیمت پایین تر ساز؛
۷. بر طرف کردن نقائصی که قبلاً به آنها اشاره شد؛
۸. جلوگیری از تخریب محیط زیست و حفظ منابع طبیعی.

این در حالی است که در ایران پژوهش‌های معدودی به صورت تئوری و عملی بر روی کامپوزیت‌های پلیمری برای جایگزینی چوب خصوصاً در ساخت ادوات موسیقی صورت گرفته است (موسوی و پیرایش فر، ۱۳۸۷، ۲۸۰-۲۹۶؛ پیرایش فر و موسوی، ۱۳۸۸، ۲۰۴-۲۱۴). گرچه در کارهای قبلی انجام شده توسط نویسندگان، خواص فیزیکی مکانیکی، جذب رطوبت، خواص آکوستیکی نمونه‌های کامپوزیتی به عنوان جایگزین چوب در آلات موسیقی مورد بررسی قرار گرفته (موسوی و پیرایش فر، ۱۳۸۷، ۲۸۰-۲۹۶؛ پیرایش فر و موسوی، ۱۳۸۸، ۲۰۴-۲۱۴؛ پیرایش فر و همکاران، ۱۳۸۹)، اما رشد روزافزون این کامپوزیت‌ها در جهان و لزوم آشنایی و ساخت سازهای ایرانی با استفاده از این کامپوزیت‌های پلیمری، گستره وسیع مواد ما را بر آن داشت تا با تغییر مواد انتخابی و یا روش ساخت کامپوزیت‌هایی با خواص استثنایی تهیه نماییم و با تحلیلی عمیق تر به بررسی انواع مختلف این نوع کامپوزیت‌ها بپردازیم. از این رو در این مقاله مواد و روش‌های ساخت آلات موسیقی با استفاده از کامپوزیت‌های پلیمری معرفی و به بیان خصوصیات هر یک از آنها پرداخته شد.

امروزه در سراسر جهان استفاده از چوب در ساخت آلات موسیقی کاربرد بسیار دارد، بطوریکه در ساخت اکثر سازها از گونه‌های مختلف چوب استفاده می‌شود. به عنوان مثال استفاده از چوب‌هایی چون چوب لاله درختی، گردو، پالیساندر، سرو اسپانیایی، افرا، بلوط، نوئل، رز چوب و... را در ساخت گیتار و استفاده از چوب درختانی چون افرا، بید، صنوبر و... را در ساخت ویلون می‌توان نام برد (Rujinirun & colleagues, 2005). در موسیقی سنتی ایران نیز چوب درخت توت کاربرد وسیعی در ساخت آلات موسیقی بخصوص تار و سه تار دارد. گرچه این کاربرد عمومیت دارد اما استفاده از چوب معایبی را به دنبال دارد (موسوی و پیرایش فر، ۱۳۸۷، ۲۸۱؛ پیرایش فر و موسوی، ۱۳۸۸، ۲۰۴؛ پیرایش فر و همکاران، ۱۳۸۹، ۱؛ Pedgley & colleagues, 2009)، معایبی چون:

۱. نداشتن صدای مطلوب در محیط‌های مرطوب؛
 ۲. مقاومت کم در برابر ضربه؛
 ۳. زمان بر بودن فرایند ساخت ساز به دلیل طولانی بودن مدت زمان فرآوری چوب؛
 ۴. احتمال وجود مشکلاتی چون وجود گره در چوب که می‌تواند در ساخت سازی با کیفیت مطلوب و صداهای مناسب ایجاد مشکل کند؛
 ۵. احتمال وجود خطای سازندگان در حین ساخت و یا تراشیدن ساز.
- چوب با گذشت زمان خواصش تغییر می‌کند چرا که چوبی که پانزده سال پیش از اروپا تهیه می‌شد، نسبت به چوب‌های امروزی سفید، سبک و چگال تر بوده است. همچنین چوب آمریکایی نیز نسبت به چوب‌های امروز زردتر و یا سرخ تر و چگال تر بوده است. به عنوان مثال سازنده ویلون مایل است از چوبی سفیدتر و کم چگالتر استفاده نماید. همچنین شایان ذکر است که صدای ساز تهیه شده از چوب به علت ثابت نماندن خواص چوب با زمان ممکن است دستخوش تغییر قرار گیرد (زاهدی، ۱۳۸۷).

عیب دیگری که به خاطر استفاده از چوب در سازها می‌توان از آن نام برد، صدمه و تخریب محیط زیست است چرا که استفاده از چوب همواره با قطع درختان همراه بوده و مشکلات عدیده‌ای برای محیط زیست به همراه دارد و باعث از بین رفتن جنگل‌ها به عنوان محیط زیست جانوری و طبیعی حیوانات وحشی و ریه‌های تنفسی زمین می‌شود. امروزه برای حفاظت از این منابع طبیعی باید به فکر جایگزینی مناسب برای چوب در مصارف مختلف باشیم. وجود منابع محدود چوب و طولانی بودن زمان فرآوری آن اقتصاد سازهای چوبی را تحت تاثیر قرار داده و سبب گردیده تا سازهای آماده با قیمت‌های بالا و بعضاً سرسام آور در بازار ابزار آلات موسیقی عرضه شوند، بطوریکه عمدتاً قیمت آنها از توان خرید هنرجویان

معایب کلی چوب برای کاربرد در ساخت آلات موسیقی

- بطوریکه در فوق اشاره شد، اگرچه کاربرد چوب در ساخت آلات موسیقی گسترده می باشد اما این کاربرد همیشه با مشکلاتی همراه بوده که در زیر به شرح تعدادی از آنها پرداخته شده است:
- وجود گره: گره عبارتست از اثر شاخه روی تنه که در اثر رشد جوانه های جانبی بوجود می آید. وزن گره ها معمولاً از دیگر اجزای چوب بیشتر و ساختار آن پیچیده تر است. بطورکلی گره ها از علل اصلی کاهش مقاومت کششی و خمشی چوب می باشند. وجود گره در چوب، معمولاً مشکلات زیادی را نیز متوجه سازندگان سازهای موسیقی می کند، زیرا وجود گره در چوب تأثیرات بسیار شدیدی بر صدای ساز تولید شده خواهد داشت.
 - ثابت نبودن خواص: چنانچه اشاره شد چوب با گذشت زمان خواصش تغییر می کند، به همین دلیل صدای ساز چوبی نیز همیشه دستخوش تغییر است. پدیده فوق یکی از مشکلات همیشگی آلات موسیقی بوده که علت آن نیز ساختار متخلخل چوب است.
 - خواص متفاوت چوب در قسمت های مختلف یک درخت و همچنین در درختان مختلف از یک گونه: این پدیده در ساخت آلات موسیقی مشکلات بسیار زیادی را ایجاد می نماید زیرا سازنده ساز قبل از اتمام ساخت ساز، نمی تواند از مطلوب بودن صدای آن ساز اطمینان حاصل کند.
 - تأثیر پذیری شدید از رطوبت: چوب به دلیل ساختار سلولزی، بسیار آب دوست بوده و جذب رطوبت بالایی دارد. این در حالی است که جذب رطوبت توسط ساز چوبی، تأثیراتی آنی و شدید بر روی صداهای آنها خواهد داشت. پدیده فوق یکی از مشکلات بزرگ سازهای چوبی می باشد که دائماً در سالن ها و سایر مکان های اجرا، ناهمگونی های بسیاری را موجب می گردد.
 - تردی و شکنندگی: به طور کلی ساختار چوب، ساختاری شکننده می باشد که علت این پدیده خواص مکانیکی ضعیف چوب است که این مورد در سازهای موسیقی که ضخامت چوب در آنها بسیار کم می باشد، شدت بیشتری می یابد. به همین دلیل شکستن سازها در هنگام انتقال و جابه جایی، پدیده ای بسیار رایج می باشد.
 - شکل پذیری مشکل: تنها راه شکل دهی چوب برش آن در اشکال دلخواه می باشد که این شکل دهی غالباً به صورت دستی بوده و بسیار زمان بر و سخت است. در این میان فرآیند زمان بر و بسیار سخت تولید سازهای موسیقی، بازار این سازها را نیز تحت تأثیر قرار داده و در سازهای بسیار زیادی خطاهای سازنده موجب صداهای بد آنها گردیده است.
 - گسیختگی: گسیختگی در چوب های قطع شده دیده می شود و علت آن اختلاف شدت از دست دادن رطوبت در سطح و عمق چوب می باشد که سبب تغییر شکل چوب می گردد. این مورد در کنار اثر دائمی نیروی اعمالی توسط سیم ها، از علل اصلی تغییر شکل چوب در آلات موسیقی می باشد که این پدیده بیشتر در دسته سازهای

زهی مانند سه تار، تنبور، تار و ... مشهود است.

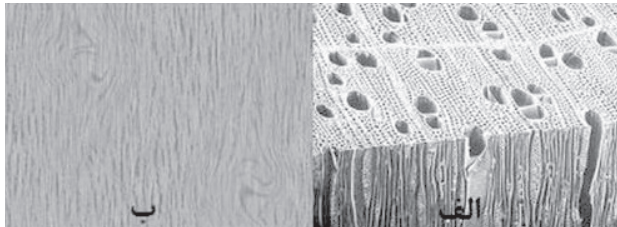
- وجود شکاف: یکی از دلایل ایجاد شدن شکاف در چوب، تغییرات ناگهانی هوای باشد که این پدیده در سازهای موسیقی نیز مشکلاتی را به وجود می آورد، به طوریکه در بسیاری از سازها شکاف هایی بسیار کوچک و کاملاً سطحی که شاید تأثیرات بسیار کمی بر صداهای ساز داشته باشند، وجود دارد.
 - پوسیدگی: چوب به دلیل ساختار کاملاً طبیعی، خیلی زود در شرایط محیطی تجزیه و تخریب می شود و به همین دلیل عمر سازهای چوبی غالباً کوتاه و کمتر از چندین سده می باشد.
- با توجه به تمامی معایب فوق، به نظر می رسد طراحی و ساخت کامپوزیت هایی پلیمری که در آنها مشکلات فوق حل شده باشند، امری بسیار مفید و سودمند در ارتقای کیفی سازهای موسیقی می باشد. البته باید توجه داشت کاربرد چوب در ساخت آلات موسیقی دارای مزایایی نیز هست، به عنوان مثال یکی از برجستگی های چوب برای استفاده در سازهای موسیقی، وجود نقش و نگارهای زیبا در آن می باشد که همین سبب تولید سازهایی زیبا می گردد. این در حالی است که کامپوزیت های پلیمری نیز از زیبایی خاص خود برخوردارند، بطور مثال، ساز ساخته شده با الیاف شیشه بسیار زیبا و همچون کریستال شفاف می باشند. همچنین بدلیل خصوصیات مهندسی خاص کامپوزیت های پلیمری، سازنده ساز از آزادی های بسیار زیادی برخوردار می باشد، بطوری که می تواند با وارد کردن یک لایه نازک از پارچه ابریشمی در لایه بیرونی ساز، سازی با زیبایی های شگفت انگیز را وارد بازار موسیقی نماید. در این مورد بررسی های گوناگون اثبات نموده است که این لایه نازک تأثیر چندانی در صداهای ساز نخواهد داشت و یا با ایجاد تغییراتی بسیار جزئی در انتخاب مواد و نحوه چیدمان آنها، می توان به راحتی آن اثر جزئی را نیز از بین برد.
- یکی دیگر از محاسن بسیار بزرگ استفاده از کامپوزیت ها در ساخت آلات موسیقی، ساخت سازهایی مهندسی که صداهای آنها از قبل پیش بینی شده، می باشد. زیرا با توجه به خواص مواد اولیه مورد استفاده و همچنین ترکیب در صد های آنها، می توان خواص آکوستیک کامپوزیت نهایی را به راحتی پیش بینی نمود، یعنی می توان با انتخاب مناسب مواد اولیه و همچنین ترکیب در صد مناسب، امکان ساخت سازی با خواص از پیش تعیین شده را میسر نمود. مطالعات نشان داده است که با بررسی های فیزیکی می توان تشخیص داد که برای خلق صدا های جدید چه خواص آکوستیکی مورد نیاز می باشد (Parry, 1965)، که در این میان با تغییر دادن نوع مواد و همچنین میزان ترکیب در صد های آنها، 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 می توان به کامپوزیتی با مدول الاستیک بسیار بالا و حتی بیشتر از 700GPa دست یافت. این یکی از قابلیت های بسیار بزرگ کامپوزیت ها است که می تواند سبب ایجاد تحولاتی بسیار بزرگ در موسیقی و حتی به تولید سازهایی جدید منجر گردد. این در حالی است که انجام چنین فعالیت هایی با استفاده از چوب غیر ممکن می باشد.

نگاهی گذرا به ساختار شیمیایی چوب

توجه است و می توان با در نظر گرفتن این ویژگی ها مشکلات و نقائص ذاتی چوب را برای کاربرد در ساخت آلات موسیقی از میان برد.

حسن دیگر استفاده از چوب های پلیمری در ساخت ساز های موسیقی ساده کردن فرایند ساخت ساز است (Wegst, 2006). مثلاً با استفاده از این مواد جدید، با روش قالبگیری و تزریق بدنه ویلون و ویولنسل تنها در چهار بخش کلی و مجزا (صفحه رو، صفحه زیر، صفحه انگشت گذاری، چانه و خرک) تولید می شوند و می توانیم ویلون را بجای آنکه با ۷۰ قطعه تولید کنیم با ۲۰ قطعه این کار را انجام دهیم (تصویر ۱).

در این میان قالب گیری تزریقی پرکاربردترین روش برای تولید کامپوزیت های چوب پلاستیک می باشد، در این روش پودر چوبی که قبلاً خشک شده است به همراه دانه های پلیمری وارد دستگاه شده و پس از آن وارد بخش گرمکن می شود. در آنجا دانه های پلیمری ذوب شده و دور پودر چوب را می گیرند، همچنین چرخش پیچ مخلوط کن سبب اختلاط کامل پلیمر ذوب شده و پودر چوب می گردد. در نهایت مخلوط حاصله تحت فشار پیچ مخلوط کن وارد قالب شده و پس از سرد شدن قالب، نمونه نهایی در شکل های مختلف از قالب خارج می گردد (Walker, 1956).



تصویر ۱- ساختار شیمیایی چوب که از الیاف تک جهت تشکیل شده است الف: عکس میکروسکوپی از الیاف چوب ب: عکس ماکروسکوپی که نشان دهنده جهت گیری تک جهت الیاف چوب می باشد. ماخذ: (Bodig, 1982)



تصویر ۳- چگونه ساده شدن ساخت ساز با استفاده از چوب های پلیمری و روش قالب گیری. ماخذ: (موسوی و پیرایش فر، ۱۳۸۷، ۲۸۲)

به طور کلی ساختار چوب، ساختاری لیفی می باشد که در آن لیف های سلولزی توسط چسب لیگنین در کنار هم قرار گرفته اند. در تصویر ۱ ساختار شیمیایی چوب از دو دید میکروسکوپی و ماکروسکوپی نشان داده شده است:

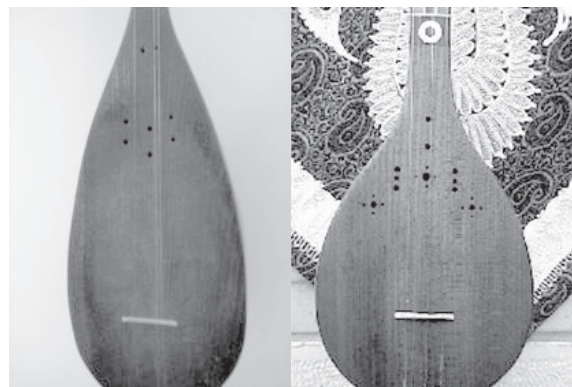
چنانچه در تصاویر فوق ملاحظه می گردد الیاف چوب فقط در یک جهت قرار گرفته اند و به همین دلیل خواص چوب فقط در جهت الیاف قابل ملاحظه می باشد. چنانچه در تصویر ۱ الف مشاهده می شود ساختار چوب به دلیل وجود آوندهای انتقال دهنده آب و سایر مواد غذایی، ساختاری غیر پیوسته می باشد، که شدت و جهت گیری این آوندها در چوب های مختلف متفاوت بوده و تاثیر بسیار زیادی بر روی خواص فیزیکی مکانیکی گونه های متفاوت چوب دارد.

در این میان جهت گیری الیاف چوب در ساخت آلات موسیقی نیز بسیار مهم و تاثیرگذار است، به طوری که برای ساخت تخته صدای آلات موسیقی، الیاف چوبی باید کاملاً در راستای طولی و موازی با سیم های ساز قرار گیرد. این موضوع در تصویر ۲ که تصویری از یک سه تار و تنبور می باشد، نشان داده شده است.

کامپوزیت های چوب پلاستیک

کامپوزیت های چوب پلاستیک یا چوب پلیمری، آمیزه ای از خرده ها و تکه های کوچک چوب در داخل یک پلیمر یا چسب می باشد که این چسب (رزین) با پیوندهای قوی این ذرات چوب را به صورت یکپارچه نگه داشته است. چوب های پلیمری می توانند تا حدود زیادی بر مشکلات ناشی از به کارگیری چوب فایق آیند. سرعت تولید و تهیه بالا، ضربه پذیری مناسب، مقاومت خوب در برابر رطوبت و ... همه و همه با استفاده توامان پلیمر در کنار چوب، بدست می آید (میرشکرایی، ۱۳۷۳).

در این میان همکاری نزدیک هنرمندان موسیقی و شیمیدان ها باعث گردید تا چوب های پلیمری به بازار ابزار آلات موسیقی نیز راه پیدا کنند. استفاده از پلیمر در کنار چوب خواص ویژه ای را ایجاد می کند (Walker, Martin, 1956) که با توجه به مسائل بیان شده جالب



تصویر ۲- عکس از یک سه تار (سمت راست) و یک تنبور (سمت چپ). که در هر دو جهت گیری الیاف چوب دقیقاً موازی با راستای سیم های ساز می باشد.

سازهای نو، با ظاهری بسیار متفاوت است که این سازها همچون کریستال شفاف بوده و در رنگ‌های متنوع موجود می‌باشند. استفاده از الیاف کولار نیز می‌تواند ساخت سازهایی بسیار خوش صدا و همچنین محکم و ضربه‌پذیر را مقدر سازد. با این حال الیاف کربن پرکاربردترین ماده در ساخت انواع صفحات صوتی می‌باشد و دلیل آن خواص ارتعاشی و آکوستیکی فوق‌العاده این الیاف است. همانند ساختار چوب که الیاف آن توسط چسب لیگنن در کنار هم قرار گرفته‌اند، برای تولید کامپوزیت‌های لیفی نیز الیاف مصنوعی با استفاده از چسب (رزین) های پلیمری در کنار هم قرار می‌گیرند، در این میان معروف‌ترین رزین‌های پلیمری رزین‌های پلی‌استر، اپوکسی، وینیل‌استر و فنولیک می‌باشند که عمده ویژگی‌های آنها مقاومت شیمیایی عالی، چسبندگی بسیار بالا، استحکام کششی و فشاری بسیار خوب، قابلیت پخت در دماهای مختلف و مقاومت خستگی ممتاز می‌باشد (Lee, Neville, 1956)، پاکزی فرد و میرعابدینی، (۱۳۸۹).

به منظور آشنایی بیشتر با خواص صوتی کامپوزیت‌های لیفی تعدادی از مهمترین پارامترهای صوتی در زیر تعریف و در جدول ۱ مقادیر اندازه‌گیری شده توسط نویسندگان برای این پارامترها در کامپوزیت‌های الیاف کربن-رزین پلی‌استر، الیاف شیشه-رزین پلی‌استر و الیاف کولار-رزین پلی‌استر و نمونه چوب‌های درختان سروسیمین و توت سفید که کاربردهای بسیار بالایی در ساخت آلات موسیقی دارند، آورده شده است.

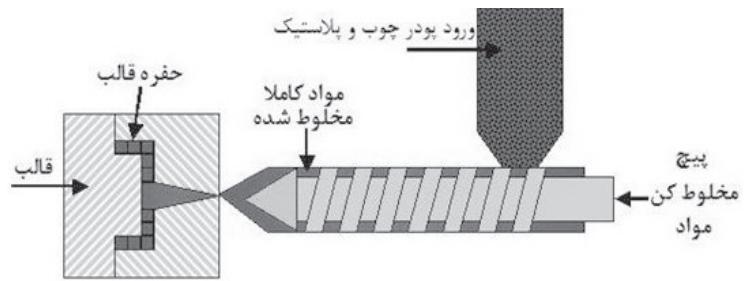
• **چگالی:** چگالی یکی از مهمترین پارامترهای فیزیکی است که تاثیر مستقیمی بر روی خواص ارتعاشی و آکوستیکی نمونه‌ها دارد، بطوریکه هرچه مقدار چگالی نمونه‌ای با فرض ثابت بودن سایر پارامترها کمتر باشد آن نمونه دارای قابلیت ارتعاش نمودن بیشتری می‌باشد (Roohnia, 2005, 2).

• **مدول الاستیک در جهت طولی:** به طور کلی مدول الاستیک یا یانگ از نسبت تنش و کرنش برای جسمی که تحت کشش قرار گرفته است، در کرنش‌های اولیه بدست می‌آید. به بیان ساده‌تر مدول الاستیک پارامتری است که مقدار سفتی نمونه را نشان می‌دهد. طبیعی است که هرچه نمونه‌ای سفت‌تر و مدول بالاتر باشد، قابلیت ارتعاش آن بیشتر بوده و دارای خواص آکوستیکی مطلوب‌تری می‌باشد (Roohnia, 2005, 2).

• **سرعت فراصوت در جهت طولی:** سرعت فراصوت یکی از پارامترهای صوتی بسیار مهم می‌باشد بطوریکه هرچه مقدار این پارامتر برای نمونه‌ای بیشتر باشد قابلیت ارتعاش آن نمونه بیشتر خواهد بود و در نتیجه نمونه فوق برای ساخت تخته صدا مناسب‌تر خواهد بود. بررسی‌ها نشان داده است که سرعت فراصوت مطابق رابطه زیر به چگالی و مدول الاستیک در جهت طولی وابسته است.

$$V^2 = E/\rho$$

در رابطه فوق E مدول الاستیک در جهت طولی، ρ چگالی و V سرعت فراصوت در جهت طولی نمونه می‌باشد (Roohnia, 2005, 3).



تصویر ۲- مکانیسم عمل در روش قالب‌گیری تزریقی.

بررسی دقیق ساختار لیفی چوب که از الیاف احاطه شده توسط چسب لیگنن تشکیل شده است، شیمیدانان را بر آن داشت که جایگزینی همانند و هم‌شکل چوب برای آن بیابند. از آنجا که چوب‌ها از الیاف طبیعی درست شده‌اند، این ساختار شیمیدان‌ها را به ساخت چوب‌های پلیمری که با الیاف مصنوعی درست شده‌اند سوق داد. در واقع این بار به جای استفاده از مخلوط چوب و پلیمر برای ساخت چوب‌های پلیمری، از کامپوزیت الیاف و پلیمر استفاده گردید. این نوع کامپوزیت‌ها علاوه بر ظاهر زیباتر و تداعی جلوه‌ای شکل‌تر، مقاومت‌های خارق‌العاده‌ای را نیز ایجاد می‌کنند. به بیان ساده‌تر محصولی با این ویژگی‌ها بر تمامی مشکلات مطرح شده در مورد چوب غلبه کرده و تخته‌صدایی استثنایی را به بازار موسیقی وارد می‌کند. برای ساخت چنین کامپوزیت‌هایی الیاف مختلف با قابلیت‌ها و خواص متفاوت، به کار گرفته می‌شود و بدیهی است که استفاده از مواد مختلف، خواص گوناگون را ایجاد می‌کند. به منظور آشنایی بیشتر با این مواد، اسامی آنها به همراه مختصری در مورد خواص آنها در ذیل آورده شده است.

الیاف کربن

مشخصه الیاف کربن سبکی، استحکام و سختی بالا می‌باشد. الیاف 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 (هاشمی، ۱۳۷۲).

الیاف شیشه

الیاف شیشه مشهورترین تقویت‌کننده مورد استفاده در صنعت کامپوزیت می‌باشد. تقریباً ۹۰ درصد الیاف مورد استفاده در کامپوزیت‌های مهندسی الیاف شیشه‌ای می‌باشد. الیاف شیشه استحکام و سختی مناسبی دارد و خواص مکانیکی خود را در دماهای بالا حفظ می‌کند. همچنین این الیاف از مقاومت رطوبت و خوردگی مناسبی برخوردار است (Nielsen & colleagues, 1994).

الیاف کولار

دانشیته کم و استحکام کششی بسیار بالای این الیاف، موجب تشکیل یک ساختار چقرمه و مقاوم به ضربه گردیده است. الیاف کولار در ابتدا به منظور جایگزینی فولاد در تایرهای رادیال ساخته شدند، ولی بعداً کاربردهای دیگری پیدا کردند (www.wikipedia.com). استفاده از الیاف شیشه در موسیقی درجه‌ای به سوی ساخت

ایجاد شده بیشتر خواهد شد (Roohnia, 2005, 25).

- فاکتور کارایی تبدیل صوتی: فاکتور کارایی تبدیل صوتی که از حاصل ضرب ضریب آکوستیک و فاکتور کیفیت بدست می آید، در اصل برآیندی از کل فاکتورهای در پیش گفته شده می باشد. بطور کلی هرچه مقدار فاکتور کارایی تبدیل صوتی در نمونه ای بیشتر باشد، آن نمونه برای ساخت آلات موسیقی مناسب تر است (Roohnia, 2005, 41).

چنانچه در جدول ۱ ملاحظه می گردد، کلیه خواص آکوستیک نمونه های کامپوزیتی به خصوص نمونه کربنی بسیار فراتر از نمونه های شاهد چوبی است. این نتایج نشان می دهد که با استفاده از کامپوزیت های لیفی می توان سازهایی با صدادهی بسیار مطلوب و وسعت صدایی بالا تولید نمود. بعلاوه نتایج میرایی بدست آمده نشان می دهد که مانایی و پایداری صدای سازهای کامپوزیتی بسیار بیشتر از سازهای چوبی خواهد بود.

- ضریب آکوستیک: چنانچه بیان گردید چگالی و مدول الاستیک مهمترین پارامترهای فیزیکی و مکانیکی می باشند که دارای تاثیر مستقیم بر روی خواص ارتعاشی و آکوستیکی هستند. به منظور تعیین میزان تاثیر آنها در کنار همدیگر، پارامترهای متفاوتی تعریف شده اند که یکی از مهمترین آنها ضریب آکوستیک است که مطابق با رابطه زیر تعریف می گردد:

$$K = (E/\rho^3)^{0.5}$$

در رابطه فوق K ضریب آکوستیک، ρ چگالی و V سرعت فراصوت در جهت طولی نمونه می باشد (Roohnia, 2005, 23).

- فاکتور کیفیت: فاکتور کیفیت برابر نسبت انرژی تزریق شده در یک سامانه به انرژی تلف شده در آن سامانه است. این پارامتر که یکی از مهمترین پارامترهای آکوستیکی است، از مهمترین عوامل تعیین کننده مانایی و پایداری صدای ایجاد شده توسط آلات موسیقی می باشد، بطوریکه هر چه قدر مقدار این پارامتر بیشتر باشد، مقدار انرژی تلف شده کمتر و در نتیجه مانایی و پایداری صدای

جدول ۱- خواص آکوستیک نمونه های الیاف کربن-رزین پلی استر، الیاف شیشه-رزین پلی استر و الیاف کولار-رزین پلی استر به همراه همین نتایج برای نمونه های شاهد از چوب درختان سرو سیمین و توت سفید.

چوب درخت توت	چوب درخت سرو	نمونه الیاف کولار و رزین پلی استر	نمونه الیاف شیشه و رزین پلی استر	نمونه الیاف کربن و رزین پلی استر	
۰/۵۵۲	۰/۴۲۵	۱/۲	۱/۹۳	۱/۵۶	چگالی (g/Cm3)
۱۲/۰۴	۶/۱۸	۱۴۰/۵۴	۴۲/۹۴	۱۹۹/۴۷	مدول الاستیک در جهت طولی (GPa)
۴۶۶۹/۶۶	۳۷۶۹/۲۰	۱۰۸۲۲/۰۵	۴۷۱۳/۶۰	۱۱۳۰۹/۷۶	سرعت فراصوت در جهت طولی (m/s)
۲۶۷/۵۱	۲۷۴/۰۱	۲۲۳/۴۷	۷۷/۱۳	۲۲۹/۳۴	ضریب آکوستیک
۷۴/۱۹	۷۱/۹۲	۶۲۸/۵۳	۳۵۸/۱۷	۱۱۷۲/۷۵	فاکتور کیفیت
۱۹۸۴۶	۱۹۷۰۶	۱۴۶۱۴۲	۲۷۶۲۵	۲۶۸۹۵۸	کارایی تبدیل صوتی

ماخذ: (Pedgley et. al, 2009, 168)

خواص آکوستیک شگفت انگیز و همچنین فرآیند پذیری آسان و سریع کامپوزیت ها، سبب رشد روز افزون این مواد در کاربردهای مختلف گردیده و روز به روز نیز بر حجم تولید آنها افزوده می شود. در تصویر ۵ الف یک گیتار که تماماً با استفاده از الیاف کربن و رزین اپوکسی و در تصویر ۵ ب تخته صدای گیتار که توسط کامپوزیت های چوب پلاستیک ساخته شده اند، نشان داده شده است.



تصویر ۵- در قسمت الف یک گیتار که تماماً با استفاده از الیاف کربن-رزین اپوکسی و در قسمت ب تخته صدای یک گیتار که از کامپوزیت‌های چوب پلاستیک ساخته شده است، نشان داده شده است.

نتیجه

در این میان در ایران نیز با توجه اقدامات بسیار تاثیر گذار انجام شده در سال‌های گذشته در ساخت سازهایی جدید با ظاهر و صدایی متفاوت، به نظر می‌رسد بررسی بیشتر خواص آکوستیک این کامپوزیت‌ها و تولید صنعتی آنها بتواند اقدامی موثر در ارتقای کیفیت سازهای ایرانی و حتی خلق سازهایی جدید باشد. در نهایت شایان ذکر است که متخصصان توانمند داخلی که با درایت و هوش سرشار خود توانسته‌اند، در بسیاری از زمینه‌ها ایران اسلامی را به خودکفایی برسانند، در این مورد نیز می‌توانند تولید سازهای ایرانی را با استفاده از این کامپوزیت‌های پلیمری ممکن سازند.

در این مقاله معایب کاربرد چوب در ساخت آلات موسیقی از جمله تغییر خواص با گذشت زمان، خواص متفاوت چوب در قسمت‌های مختلف یک درخت و همچنین درختان مختلف از یک گونه، تاثیر پذیری شدید از رطوبت، تردی و شکنندگی، وجود گره و ... مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین استفاده از کامپوزیت‌های پلیمری به عنوان جایگزین چوب در ساخت آلات موسیقی مطرح گردید. این کامپوزیت‌ها قادرند تمامی معایب فوق را بر طرف و سازی بسیار خوش صدا با قابلیت‌های ویژه تولید نمایند.

پی‌نوشت‌ها:

- ۱ .Knot
- ۲ .High modulus carbon fiber
- ۳ مدول الاستیک یکی از پارامترهای صوتی بسیار مهم است، به طوری که هرچه مقدار این پارامتر برای یک نمونه بیشتر باشد، قابلیت ارتعاش آن نمونه بیشتر خواهد بود. مقدار مدول الاستیک برای چوب درخت توت 12GPa و برای پرارتعاش‌ترین چوب‌های جهان در حدود 20GPa می‌باشد. این در حالی است که مقادیر این پارامتر در نمونه‌های کامپوزیتی بسیار بالا و غیر قابل مقایسه با چوب می‌باشد.
- ۴ .Molding
- ۵ . Injection
- ۶ .Carbon fiber
- ۷ .Fiberglass
- ۸ .Aramid fiber

فهرست منابع:

اسکندری جم، جعفر و امیرسپهیل پیرایش فر و امیر سهیل جلیلی و محمد مهدی موسوی و سید یحیی روح نیا و مهران (۱۳۸۹)، طراحی و ساخت کامپوزیت‌های پلیمری از الیاف طبیعی و مصنوعی با رزین پلی استر برای جایگزینی چوب در ساخت آلات موسیقی، دارای گواهی نامه پذیرش از دوفصلنامه علمی پژوهشی تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران.
ای. پی. زی. (۱۳۷۳)، شیمی و تکنولوژی چسب چوب، ترجمه میرشکرایی، ا، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

پیرایش فر، امیر سهیل و موسوی، سید یحیی (۱۳۸۸)، بررسی خواص آکوستیک کامپوزیت های لیفی بر پایه رزین اپوکسی، فصلنامه علمی پژوهشی هنر، شماره ۷۹.

زاهدی، حمید (۱۳۸۷)، تئوری موسیقی، اصول هارمونی (هوموفونی و پلی فونی و علوم موسیقی)، انتشارات پارت، تهران.
 فیندر، اریک (۱۳۷۲)، الیاف کربن و کامپوزیت های آن، ترجمه هاشمی، سید علی، انتشارات مرکز تحقیقات پلیمر ایران، تهران.
 میسو، الکساندر (۱۳۸۹)، شیمی و تکنولوژی پوشش های پودری، ترجمه: پاکزی فرد، شهلا، میر عابدینی، مجتبی، انتشارات پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، تهران.

موسوی، سید یحیی و پیرایش فر، امیر سهیل (۱۳۸۷)، کامپوزیت های پلیمری در خدمت موسیقی، فصلنامه علمی پژوهشی هنر، شماره ۷۵.

Bodig, J. and Jayne, B.A. (1982), *Mechanics of Wood and Wood Composites*, Van Nostrand Reinhold Company.

Davis, S.J. and Janes, R. and Bash, C.M. and Chou, P.J.C.(??), *One piece composite guitar body*, United State Patent 6, 683, 236 B2.

Lee, H. and Neville, K.(1957), *Epoxy Resins, Their Applications and Technology*, McGRAW Hill Book press.

Nielsen, L.E. and Landel, R.F. (1994), *Mechanical Properties of Polymers and Composites*, Marcel Dekker, INC press.

Parry, W. (1965), *A Music Course for Students*, Oxford University press.

Pedgley, O. and Norman, E. and Armstrong, R. (2009), Materials-inspired innovation for acoustic guitar design, *METU JFA* (26:1), 157-175.

Roohnia, M.(2005), *Study on Some Factors Affecting Acoustic Coefficient and Damping Properties of Wood Using Nondestructive Tests*, Ph.D. Thesis, Islamic Azad University Campus of Science and Researches.

Rujinirun, C. and Phinyocheep, P. and Prachyabrued, W. and Laemsak, N. (2005), Chemical treatment of wood for musical instruments, Part I: acoustically important properties of wood for the Ranad. *Wood Science and Technology*, Volume 39, Number1.

Walker, J.S. and Martin, E.R. (1956), *Injection Molding of Plastics*, The Plastics Institute Under The Title.

Wegst. U.G.K. (2006), Wood for sound, *American journal of Botany*, Volume93, 1438-1448.

www.wikipedia.com