کاربرد تارهای مرتعش در آموزش مفاهیم صوت

محمود طاهری تهرانی، دانشجوی کارشناسی ارشد آموزش فیزیک دانشگاه شهید رجایی تهران، دبیر فیزیک شهرستان تیران، استان اصفهان
جاوید ضمیر انوری، استادیار دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران

چکیده

در این مقاله ابتدا بعضی از مفاهیم صوت مانند بلندی، ارتفاع، طنین که در ارتباط با شدت، بسامد و شکل موج هستند، با بیانی ساده تشریح و سپس روش‌های مختلف تولید صوت در تارهای مرتعش به‌طور تحلیلی اما مختصر توضیح داده شده است. در پایان با استفاده از تارهای مرتعش و دیاپازون، هفده راهبرد مختلف برای آموزش مفاهیم صوت ارائه شده است.

کلیدواژه‌ها: تار مرتعش، دیاپازون، هماهنگ‌ها، طنین، راهبردهای آموزشی

مقدمه

نقش صوت هم از جهت استفاده آن در گفتار و هم از این جهت که صداهای موسیقی به‌عنوان وسیله ابراز و دریافت هیجان‌ها و احساسات دلپذیرند و هم از جهت اینکه باعث شناخت ما از محیط پیرامون می‌شود، بسیار مهم و کاربردی است. ولی شناخت عمومی جامعه ما از مفاهیم صوت، بسیار اندک است ولی در کشورهای پیشرفتهٔ جهان به‌طور مستمر در طول سال‌های تحصیلی و در مقاطع مختلف، به آن پرداخته می‌شود، در کشور ما فقط در پایان دورهٔ آموزشی متوسطه و آن هم به‌طور مختصر و صرفاً به‌طور نظری به آن پرداخته شده و فصلی از کتاب فیزیک پیش‌دانشگاهی را به خود اختصاص داده است.

بنابراین تدریس و آموزش مفاهیمی از صوت که جنبهٔ کاربردی و عملی دارد، هم برای معلمان و هم برای دانش‌آموزان همواره چالش‌برانگیز و با سختی همراه بوده است، چرا که یادگیری واقعی مفاهیم آن، تنها از روش سخنرانی و بیان شفاهی، امکان‌پذیر نیست. به‌عنوان مثال دانش‌آموزان کلاس‌های پیش‌دانشگاهی (چهارم متوسطه) با مسئله‌های مربوط به هماهنگ‌های یک تار مرتعش یا لولهٔ صوتی سروکار دارند ولی چون آن‌ها از روش‌های صحیح و به‌طور عملی آموزش نمی‌بینند، برای درک و فهم مطالب با دشواری روبه‌رو می‌شوند و مثلاً حتی اگر بتوانند بسامدهای مربوط به هماهنگ‌های دوم و سوم و ... صوت اصلی آن‌ها را از طریق رابطه‌های مربوط محاسبه کنند، ولی چون عملاً آن‌ها را تجربه نکرده‌اند، برداشت صحیحی از آن‌ها ندارند. بنابراین در اینجا به دنبال آن هستیم که ضمن بررسی تحلیلی و دقیق حالت‌های مختلف تولید صوت در تارهای مرتعش، به کمک آن‌ها راهکارهایی را بیابیم تا بتوانیم مفاهیم صوت را به‌طور عملی و زیبا آموزش دهیم تا درک مفاهیم آن آسان‌تر شود.

تولید صوت توسط تارهای مرتعش

مطالعه فاصله‌های موسیقی و قانون‌های تارهای مرتعش از زمان فیثاغورس یعنی (هفت قرن پیش از میلاد) آغاز شد. یونانی‌ها اختراع منوکورد را به او نسبت می‌دهند. منوکورد بعدها به وسیلهٔ فارابی کامل و دارای دو سیم شد و صداسنج (سونومتر) نام گرفت.

سازهای زهی یا زه‌صداها (chordophones) رده‌ای از سازها هستند که در آن‌ها صدا از لرزش یا ارتعاش تار صوتی یا زه یا سیم به وجود می‌آید. سازهای زیادی در این دسته جای می‌گیرند، از جملهٔ آن‌ها می‌توان به تار، سه‌تار، سنتور، ویلون، کمانچه و گیتار اشاره کرد. معمولاً با مضراب (زخمه) زدن یا ضربه زدن و یا کشیدن آرشه بر روی این تارها، صدای دلخواه از ساز ایجاد می‌شود. مضراب یا زخمه، در سازهای مختلف، از جنس‌های متفاوتی (مثل فلز، مواد پلاستیکی، شاخ و چوب و ...) است.

با توجه به اینکه تارها با نیروی نسبتاً زیادی کشیده شده‌اند، با زدن ضربه و یا کشیدن آرشه روی آن‌ها، تغییر مکان ذرات سازندهٔ تار از حالت تعادل، جزئی خواهد بود و موج‌هایی با دامنهٔ کم به دو انتهای تار مرتعش فرستاده می‌شود و پس از بازگشت از انتهای بسته و برهم‌نهی آن‌ها تولید امواج ایستاده (ساکن) می‌کند و در نتیجه صدا تولید می‌شود.

امواج صوتی که در تارهای مرتعش تولید می‌شود، به تنهایی شدت کافی برای خوب شنیده شدن، ندارند و باید روی جعبهٔ تشدیدی قرار گیرند تا اولاً طنین مناسبی پیدا کنند و ثانیاً شدت صدای آن‌ها افزایش یابد، تا به خوبی شنیده شوند.

تأثیر ارتعاش تار صوتی روی جعبهٔ تشدید، دست کم از دو

روش و یا دو حالت زیر، صورت می‌گیرد.

در حالت اول امواج صوتی روی جداره جعبه فرود می‌آید و انرژی آن به سه بخش تقسیم می‌گردد، بخشی از آن توسط جدار بازتابیده و بخش دیگری جذب می‌شود و بقیهٔ آن به طرف دیگر جدار انتقال می‌یابد و در فضای داخلی ساز منتشر می‌شود و بر اثر تشدید علاوه بر بسامد صوت ورودی (یا همان بسامد تار مرتعش) هماهنگ‌های دیگری از آن نیز تولید می‌شود.

در حالت دوم نیروی تار مرتعش از طریق تکیه‌گاه آن به چوب بدنهٔ ساز منتقل می‌شود. در حالتی که سیم‌ها غیر مرتعش باشند، چون با نیروی نسبتاً زیادی کشیده شده و روی خرک‌ها (تکیه‌گاه‌ها) قرار گرفته‌اند، همواره نیروی ثابتی به روی بدنهٔ ساز وارد می‌کنند ولی پس از آنکه تار مرتعش توسط ضربه یا آرشه به نوسان درمی‌آید، ارتعاش‌های ریز و سریعی را به بدنهٔ ساز وارد می‌کند و در واقع نیرویی را که به طور تناوبی در حال تغییر است، بر روی خرک (تکیه‌گاه) وارد می‌کند که سبب ارتعاش تمام بدنهٔ ساز می‌شود. سپس صدای تولید شده از طریق تشدیدی که در بدنهٔ ساز صورت می‌گیرد، تقویت می‌شود و صفحات بزرگ و نسبتاً سبک بدنهٔ ساز را به ارتعاش در می‌آورد و آن‌ها امواجی صوتی با شدت و بلندی بیشتر که طبیعتاً دارای برد بیشتری نیز هستند، تولید می‌کنند.

ایجاد ارتعاش در تارها توسط آرشه

آرشه، چوبی است که به دو سر آن موی اسب می‌بندند. موها در نوک آرشه با قطعه‌ای از جنس عاج یا فولاد به چوب آرشه می‌چسبند. در انتهای آرشه، قطعه‌ای به نام موگیر که از چوب و صدف ساخته شده، کشیدگی موها را تنظیم می‌کند و با پیچ به چوب آرشه متصل است. با کشیدن آرشه روی تار آن را به ارتعاش در می‌آورند. در ضمن برای اینکه تار زبری بیشتری ایجاد کند و ارتعاش تار به راحتی صورت گیرد، گرد کولیفون (نوعی صمغ درخت)، در سطح موها مالیده می‌شود.

هنگامی که آرشه‌ای مثلاً روی یک سیم ویولن کشیده می‌شود، به‌طور دوره‌ای با سیم درگیر و رها می‌شود و نیروی اصطکاک بین سیم و آرشه باعث این حرکت می‌شود. فرض کنید آرشه‌ای که روی یک سیم کشیده می‌شود، به طرف جلو حرکت کند. در هنگام درگیری سیم و آرشه، سیم و آرشه هر دو به یک جهت حرکت می‌کنند (آرشه سیم را با خود به جلو می‌برد) و به‌زودی نیروی کشسانی سیم که می‌خواهد آن را به حالت اولیه بازگرداند، بر نیروی اصطکاک غلبه می‌کند و سیم پس از رهایی به سرعت در خلاف جهت آرشه حرکت می‌کند و این درگیری و رها شدن، بارها تکرار می‌شود تا اینکه آرشه از حرکت بایستد. در هنگام بازگشت آرشه روی تار مرتعش این رویدادها دوباره تکرار می‌شود و بدین‌ترتیب تار مرتعش در هنگام رفت و برگشت آرشه روی آن به صدا در می‌آید.

صوت هم از این جهت که در گفتار مورد استفاده قرار می‌گیرد و هم از این جهت که صداهای موسیقی به‌عنوان وسیلهٔ ابراز و دریافت هیجان‌ها و احساسات دلپذیرند و از جهت اینکه باعث شناخت ما از محیط پیرامون می‌شود، بسیار مهم و کاربردی است

▲ شکل ۱. تصویری از یک آرشه و اجزای آن

راهبردهایی برای آموزش مفاهیم صوت

راهبردهای آموزشی که در این قسمت ارائه می‌شود، حاصل کاری تجربی و آزمایشگاهی است و برای اجرای آن‌ها اگر مثلاً استفاده از ساز سنتور پیشنهاد شده، اولاً لازم نیست که آموزش‌دهنده حتماً به نواختن آن ساز تسلط داشته باشد و همین که بداند در یک ساز سنتور که توسط استاد موسیقی کوک شده، چه بسامدهایی وجود دارد، کافی است و ثانیاً حتماً لازم نیست از همان وسیله‌ای که به آن اشاره شده استفاده شود و می‌توان از سایر سازها و یا سونومترهای آزمایشگاهی و یا وسایل سادهٔ دیگر استفاده کرد. نکتهٔ مهم راهبرد آموزشی و روش رسیدن به هدف آموزشی است و نه وسیلهٔ مورد استفاده.

۱. برای اینکه نشان دهیم چگونه صوت تولید می‌شود و همچنین صوت، حاصل ارتعاش یک جسم است، کار را با یک دیاپازون آزمایشگاهی شروع می‌کنیم. ابتدا دیاپازون را از جعبهٔ تشدید آن جدا می‌کنیم و به آن ضربه می‌زنیم. سپس آن را به گوش نزدیک می‌کنیم تا صدای آن را دقیق‌تر بشنویم و سپس آن را روی جعبهٔ تشدید قرار می‌دهیم تا صدای آن به وضوح شنیده شود.

بار دیگر دیاپازون را از روی جعبهٔ تشدید جدا کرده و به آن ضربه‌ای می‌زنیم و این بار آن را به لبهٔ یک جسم دیگر مثلاً میز کلاس یا شیشهٔ پنجره تماس می‌دهیم تا ارتعاش‌های آن محسوس شود. مراحل بالا را با چند دیاپازون با بسامدهای مختلف تکرار می‌کنیم. مثلاً دیاپازون ۴۴۰ هرتز (نت لا اوکتاو سوم) و دیاپازون ۶۴۰ هرتز (نت می اوکتاو چهارم).

۲. برای اینکه نشان دهیم گوش انسان بسامدهای کمتر از ۲۰ هرتز را نمی‌شنود، آزمایش ساده‌ای انجام می‌دهیم. مثلاً خودکاری را در دست گرفته و آن را به سرعت به چپ و راست حرکت می‌دهیم و به دانش‌آموزان یادآوری می‌کنیم که آن‌ها در این حالت هیچ صدایی از آن نمی‌شنوند. زیرا هر چقدر هم بسامد نوسان آن را با دست افزایش دهیم، نمی‌توانیم به ۲۰ ارتعاش در ثانیه برسانیم.

بار دیگر از دو دانش‌آموز می‌خواهیم دو طرف یک طناب را در دست بگیرند و آن را به گونه‌ای به ارتعاش درآورند که یک

شکم در وسط و دو گره در انتها باشد و توجه می‌کنند که در این حالت نیز صدایی به گوش نمی‌رسد زیرا بسامد ارتعاش ذرات طناب کمتر از ۲۰ هرتز است و دست ما قادر نیست ارتعاش‌هایی برابر و یا بیش از ۲۰ هرتز در طناب ایجاد کند.

۳. برای اینکه در ابتدای آموزش مفاهیم صوت یک دیدگاه کلی نسبت به بسامد صوت، به دانش‌آموزان بدهیم، به کمک یک نرم‌افزار (مثلاً Sonic) که به راحتی روی گوشی‌های تلفن همراه نیز نصب می‌شود، بسامدهایی از صفر تا ۲۵۰۰۰ هرتز را تولید می‌کنیم تا دانش‌آموزان یک دیدگاه کلی نسبت به صوت در بسامدهای گوناگون به دست آورند و در ضمن منظور از فراصوت و فروصوت را نیز متوجه شوند (بیش از ۲۰۰۰۰ هرتز و کمتر از ۲۰ هرتز). با همین آزمایش متوجه می‌شوند که گوش افراد مختلفی که در کلاس درس حضور دارند، توانایی شنیداری متفاوتی دارند و برخلاف آنچه در کتاب‌ها می‌خوانند که گوش انسان بسامدهای بین ۲۰ تا ۲۰۰۰۰ هرتز را می‌شنود، ممکن است گوش آن‌ها این توانایی را نداشته باشد.

۴. برای آموزش دادن اینکه با افزایش دامنه و بسامد، شدت و در نتیجه بلندی صوت افزایش می‌یابد، ابتدا روی یک تار مرتعش (مثلاً تار روی ساز سنتور) ضربهٔ ملایمی می‌زنیم و بار دیگر ضربهٔ محکم‌تری به آن می‌زنیم. در حالت دوم که دامنهٔ نوسان افزایش می‌یابد، شدت صدا بیشتر می‌شود و دانش‌آموزان نیز آن را بلندتر احساس می‌کنند.

بار دیگر با ضربه‌های ملایم و یکنواختی روی سیم‌ها به ترتیب افزایش بسامد، ضربه می‌زنیم و مشاهده می‌شود که به‌رغم یکسان بودن شدت ضربه زدن، به خاطر افزایشی که در بسامد ایجاد شده، صدا بلندتر احساس می‌شود.

۵. برای اینکه نشان دهیم شدت صوت که متناسب با عکس مجذور فاصله است، با بلندی صوت رابطه‌ای خطی ندارد، درحالی‌که روی یک سیم سنتور ضربه‌ای ملایم می‌زنیم، دانش‌آموزی را یک بار در فاصلهٔ کمی از ساز و بار دیگر در فاصلهٔ بیشتر از ساز قرار می‌دهیم و در مورد احساس شنوایی او از صدا، پرسش می‌کنیم، تا مقایسهٔ بین دو حالت، باعث یادگیری شود. مثلاً یک بار دانش‌آموز را در فاصلهٔ ۱ متری از ساز و بار دیگر در فاصلهٔ ۳ متری از ساز قرار می‌دهیم. می‌دانیم که شدت صوت در فاصلهٔ ۱ متری ۹ برابر شدت در فاصلهٔ ۳ متری است ولی دانش‌آموز آن صدا را واقعاً ۹ برابر قوی‌تر نمی‌شنود و او این واقعیت را به خوبی احساس می‌کند.

۶. صداخوانی یکی از روش‌هایی است که می‌تواند درک عمیقی از صدا و به‌خصوص بسامد آن به فراگیران بدهد. در این روش از فراگیران می‌خواهیم تا سعی کنند، صدایی را که از یک ساز موسیقی تولید می‌شود، تقلید و به کمک تارهای صوتی خود همان بسامد را تولید کنند. فراگیر با تلاش و تمرین این توانایی را پیدا می‌کند که صدای هر نت را درست آن‌گونه که هست بخواند؛ و برای شروع کار باید نت‌هایی را انتخاب کنیم که تولید آن توسط تارهای صوتی حنجره زیاد مشکل نباشد؛ مثلاً نت «دو» را از سیم‌های سفید سنتور (با بسامد ۵۱۲ هرتز) به ارتعاش درآوریم، و همزمان با آن فرد تلاش می‌کند تا صدایی که از حنجره او خارج می‌شود دقیقاً با آن نت از لحاظ بسامد، یکسان باشد. (این روش در واقع یکی از مراحل سلفژ است که در آموزش موسیقی به‌کار می‌رود).

۷. برای اینکه نشان دهیم محل ضربه زدن روی یک سیم، تفاوت محسوسی در صدای آن ایجاد نمی‌کند، با یک آزمایش ساده می‌توانیم این موضوع را نشان دهیم: ضربه‌ای نزدیک به وسط یک تار مرتعش که روی یک سنتور است می‌زنیم و بسامد آن را به کمک کوک‌کن (که بسامد یا نت موسیقی را نشان می‌دهد) تعیین می‌کنیم. سپس به ترتیب با زدن ضربه‌هایی به یک انتهای سیم نزدیک می‌شویم و بسامد را اندازه می‌گیریم. همین کار را از طرف دیگر نقطهٔ میانی سیم انجام می‌دهیم. نتیجه‌های اندازه‌گیری نشان می‌دهد که در یک سیم یا تار مرتعش، که بسامد مشخصی را تولید می‌کند، تغییر مکان ضربه زدن، بسامد سیم را تغییر نمی‌دهد.

آزمایش بالا را می‌توان با کشیدن آرشه روی یکی از سیم‌های ویولن و یا کمانچه نیز نشان داد. البته محل ضربه زدن یا کشیدن آرشه روی سیم باید به‌گونه‌ای باشد که سیم صدای طبیعی خود را تولید کند. مثلاً اگر ضربه را در فاصلهٔ خیلی نزدیک به تکیه‌گاه سیم وارد کنیم، صدای طبیعی خود را تولید نمی‌کند.

۸. شدت ضربه زدن نیز اگرچه روی شدت صوت حاصل تأثیر می‌گذارد ولی نشان می‌دهیم که تأثیر چندانی در بسامد صوت حاصل ندارد. در فاصلهٔ ۵ سانتی‌متری یک انتهای تار ضربه‌ای ملایم می‌زنیم و بسامد آن را اندازه می‌گیریم، بار دیگر ضربه‌ای قوی‌تر به همان نقطه وارد می‌کنیم و نشان می‌دهیم که بسامد و نتی که کوک‌کن نشان می‌دهد، تغییر نمی‌کند.

۹. حال می‌خواهیم آموزش دهیم بسامد صدای یک تار مرتعش با طول تار مرتعش رابطه‌ای معکوس دارد. ابتدا یکی از سیم‌های سفید روی سنتور را انتخاب می‌کنیم (مثلاً نت do از سیم‌های سفید با بسامد ۵۱۲ هرتز) و ضربه‌ای به آن می‌زنیم و بسامد صدای آن را اندازه می‌گیریم. طول سیم پشت خرک در این حالت نصف طول سیم سمت راست خرک است و بنابراین بسامد صدای آن باید دو برابر باشد (۱۰۲۴ هرتز) و در واقع باید همان نت do را تولید کند، این موضوع را نیز آزمایش و درستی آن را نشان می‌دهیم. سپس خرک یا

برای نشان دادن اینکه صوت چگونه تولید می‌شود و اینکه صوت حاصل ارتعاش یک جسم است، می‌توان کار را با یک دیاپازون آزمایشگاهی شروع کرد

تکیه‌گاه سیم را به‌گونه‌ای جابه‌جا می‌کنیم که تنها طول اولیهٔ آن به ارتعاش درآید. در این حالت مشاهده می‌شود که بسامد نت حاصل $\frac{9}{8}$ برابر می‌شود. و اگر قبلاً نت do با بسامد ۵۱۲ هرتز را تولید می‌کرد، در این حالت نت re با بسامد ۵۷۶ هرتز را تولید می‌کند.

به فراگیران این نکته را متذکر می‌شویم که با استفاده از اصل بالا روی سازهای مختلف (مثلاً تار، سه‌تار، کمانچه، ویولن و ...) پرده‌بندی‌هایی ایجاد کرده‌اند و هنگامی‌که با دست روی نقاط خاصی از سیم فشار می‌آوریم، در واقع طول سیم را تغییر می‌دهیم و با این ترتیب امکان تولید صداهای مختلف در اوکتاوهای مختلف موسیقی، از تعداد کمی سیم (مثلاً ۴ سیم در ویولن)، ایجاد می‌شود.

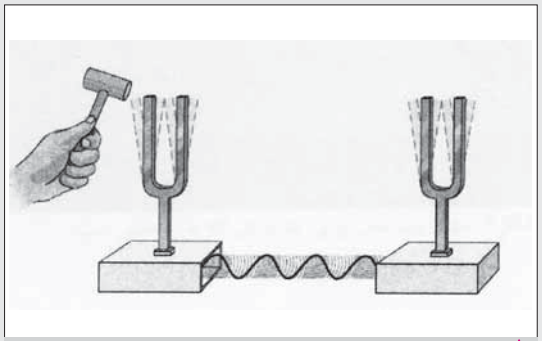
۱۰. برای اینکه بسامد صوت تولیدی توسط یک تار مرتعش را تغییر دهیم علاوه بر تغییر طول، می‌توانیم نیروی کشش تار را تغییر دهیم. در سنتور این کار را با پیچاندن گوشی (یا میله‌ای که سیم به آن وصل است) انجام می‌دهیم و اگر آن را ساعت‌گرد بچرخانیم، نیروی کشش آن زیاد می‌شود و بسامد صوت حاصل نیز افزایش می‌یابد و این موضوع را با کوک‌کن نشان می‌دهیم. در حالتی که هر چهار سیم نت do از سیم‌های زرد کوک‌شده‌اند و بسامد ۲۵۶ هرتز دارد، با پشت مضراب آن‌ها را به ترتیب و پشت‌سرهم به ارتعاش در می‌آوریم تا فراگیران هم‌صدایی آن‌ها را احساس کنند. سپس نیروی کشش سیم دوم آن را اندکی افزایش می‌دهیم و آن‌ها را پشت سر هم و با فاصلهٔ زمانی کم به صدا در می‌آوریم تا غیر هم‌صدایی آن‌ها را احساس کنند. به کمک کوک نت، بسامد سیم‌های اول و دوم را به‌طور جداگانه اندازه می‌گیریم و متوجه می‌شویم که افزایش نیروی کشش سیم، بسامد آن را افزایش داده است. بار دیگر همین آزمایش را تکرار می‌کنیم ولی این بار نیروی کشش سیم دوم را کم می‌کنیم و به نتیجه‌های مورد نظر می‌رسیم.

برای اینکه بسامد صوت تولیدی توسط یک تار مرتعش را تغییر دهیم علاوه بر تغییر طول، می‌توانیم نیروی کشش تار را تغییر دهیم

۱۱. برای اینکه نشان دهیم نحوهٔ به ارتعاش درآوردن یک تار مرتعش چه تأثیری در بسامد صدای تولید شده دارد، یکی از سیم‌های روی ساز سنتور (یا هر ساز دیگری) را یک بار از طریق مضراب زدن، بار دیگر با کشیدن و رها کردن توسط پشت مضراب و بار دیگر با کمک انگشت دست به ارتعاش در می‌آوریم و در هر بار صدای تولید شده را توسط کوک‌کن می‌سنجیم و نت آن را تعیین می‌کنیم و به دانش‌آموز نشان می‌دهیم که در هر بار نت یکسانی تولید شده است. (اگرچه شدت ضربه زدن، شدت هماهنگ‌هایی را که به همراه صوت اصلی ایجاد می‌شود، تغییر می‌دهد ولی بسامد صوت اصلی را که انتظار داریم از آن تار بشنویم، تغییر نمی‌دهد.)

۱۲. برای اینکه پدیده زنش یا ضربان را آموزش دهیم، باید دو تار مرتعش داشته باشیم که بسامد آن‌ها اندکی متفاوت باشد. مثلاً نیروی کشش دومین سیم نت سُل از سیم‌های زرد سنتور را به مقدار بسیار کم کاهش می‌دهیم تا بسامد آن هم به مقدار کمی کاهش یابد، سپس با دستهٔ مضراب سیم اول و دوم را بلافاصله و پشت‌سرهم به ارتعاش درمی‌آوریم و از دانش‌آموز می‌خواهیم تا به زنش و بالا و پایین شدن صدا توجه کند. سپس مقدار نیروی کشش را باز هم کمی کاهش می‌دهیم تا اختلاف بسامد دو سیم بیشتر شود و سپس مانند حالت قبل، آن‌ها را به‌طور همزمان به ارتعاش درمی‌آوریم و به زنش ایجاد شده توجه می‌کنیم که در این حالت بیشتر از قبل است. در این آزمایش باید دقت کنیم که اگر اختلاف بسامد خیلی زیاد باشد، پدیدهٔ زنش به خوبی شنیده نمی‌شود. روش دیگر برای آموزش پدیدهٔ زنش استفاده از دو دیاپازون هم‌صدا در کنار یکدیگر است که در قسمت بعدی توضیح داده می‌شود.

۱۳. می‌دانیم که اگر بسامد نیروی محرکی که بر یک جسم وارد می‌شود با بسامد طبیعی آن جسم یکسان باشد، دامنهٔ نوسان جسم رو به افزایش رفته و تشدید اتفاق می‌افتد. برای آموزش مفهوم تشدید، ابتدا دو دیاپازون هم‌بسامد (مثلاً هر دو ۴۴۰ هرتز باشند) را انتخاب می‌کنیم و آن‌ها را به همراه جعبه‌های طنینی‌شان روبه‌روی یکدیگر و در فاصلهٔ تقریباً ۱۰ سانتی‌متر از یکدیگر قرار می‌دهیم و به یکی از آن‌ها ضربه‌ای می‌زنیم تا به صدا درآید، سپس آن را با دست لمس می‌کنیم تا از ارتعاش بیفتد، مشاهده می‌شود که دیاپازون مجاور آن به ارتعاش درآمده است. بار دیگر همین آزمایش را تکرار می‌کنیم ولی این بار دیاپازون‌هایی با بسامدهای مختلف به کار می‌بریم. (مثلاً ۴۴۰ هرتز و ۶۰۰ هرتز) در این حالت پدیدهٔ تشدید مشاهده نمی‌شود.



▲ شکل۲. تشدید در دو دیاپازون هم‌بسامد

۱۴. به کمک آزمایش قبلی می‌توان پدیدهٔ زنش یا ضربان را نیز نشان داد. به این ترتیب که به یکی از دیاپازون‌های هم‌بسامد گیره‌ای در وسط شاخهٔ آن می‌بندیم و این بار هر

دو را با هم به ارتعـــاش در می‌آوریم و چون دیاپازونی که به آن گیره بسته‌ایم، به‌خاطر افزایش جرم مقداری کاهش بسامد داشـــته اســـت، می‌توان پدیدهٔ زنش را مشاهده کرد و باز هم در همین حالت محل گیره را از وسط شاخه‌های دیاپازون به اندازهٔ ۲ سانتی‌متر بالاتر می‌بریم و مجدداً هر دو دیاپازون را به ارتعاش درمی‌آوریم و پدیدهٔ زنش یا ضربان را این بار با بسامد بیشتر مشاهده می‌کنیم.

۱۵. یکی از موارد استفاده از زنش یا ضربان کوک کردن دو یا چند تار مرتعش به‌گونه‌ای است که صدا با بسامد مشخص تولید کنند. مثلاً در ســـنتور که هر نت دارای ۴ سیم مشابه اســـت و باید هر ۴ سیم هم‌صدا باشند، ابتدا یکی از سیم‌ها را با دیاپازون و یا گوش کوک می‌کنیم. (با تغییر نیروی کشش، به بســـامد مورد نظر می‌رسیم). ســـپس سیم‌های اول و دوم را با انتهـــای مضراب و بلافاصله پـــس از یکدیگر به ارتعاش در می‌آوریم و نیروی کشـــش ســـیم دوم را هم‌زمان تغییر می‌دهیم. وقتی که بسامد دو صوت به هم نزدیک شوند زنش را به خوبی احساس می‌کنیم و نیروی کشش را آن قدر تغییر می‌دهیم تا زنش بین آن‌ها صفر شـــود. در این صورت آن دو سیم با هم کوک شده‌اند.

۱۶. می‌دانیم که طنین هر ســـازی با ساز دیگر متفاوت است و همین باعث می‌شود که مثلاً اگر صدایی با بسامد ۲۵۶ هرتز توسط دیاپازون و یا سنتور و یا با ویولن و ... ایجاد شود گوش ما بتواند آن‌ها را از هم تمیز دهد. برای آموزش مفهوم طنین ابتدا یک دیاپازون آزمایشگاهی را از جعبه تشدید آن جدا می‌کنیم و بـــا زدن یک ضربه آن را به ارتعاش درمی‌آوریم. آن را نزدیک گوش خود می‌بریم تا صدای آن را به خوبی بشـــنویم. سپس جعبهٔ تشـــدید را در زیر آن قرار می‌دهیم. صدای تولید شده را که این بار متفاوت از قبلی، ولی با همان بسامد است می‌شنویم. بار دیگر همان دیاپازون را از جعبهٔ تشـــدید آن جدا می‌کنیم و این بار آن را روی جعبهٔ تشدید سنتور قرار می‌دهیم و به صدای حاصل گوش داده و آن را با قبلی مقایســـه می‌کنیم. به همین ترتیب جعبه‌های تشدید گوناگونی به کار می‌بریم و صداهای متفاوتی را احســـاس می‌کنیم. ایجاد این طنین‌های مختلف می‌تواند به خاطر نوع و تعداد و شدت هماهنگ‌هایی باشد که همراه با صدای اصلی دیاپازون تولید می‌شود.

۱۷. روش دیگر نشان دادن هماهنگی بین نت‌ها و آموزش مفهوم آن، استفاده از سیم‌های روی ساز سنتور است که به‌طور مناسبی کوک شده باشند. در این حالت نت do سیم‌های زرد دارای بسامد ۲۵۶ هرتز و نت do سیم‌های سفید ۵۱۲ هرتز و نت do سیم‌های پشت خرک ۱۰۲۴ هرتز است. ابتدا ضربه‌ای روی هر یک از ســـیم‌های بالا می‌زنیم تا فراگیران هر یک از آن صداها را جداگانه بشـــنوند. (گوش‌های ناآشنا به موسیقی ظاهراً نت‌های متفاوتی خواهند شـــنید.) سپس آن سیم‌ها را دو به دو به‌طور هم‌زمان به ارتعاش درمی‌آوریم (اســـتفاده از جفت مضراب) و در این حالت شنوندگان یک صدا می‌شنوند و نمی‌توانند آن‌هـــا را از هم تفکیک کنند. مثلاً ۲۵۶ و ۵۱۲ هرتز را هم‌زمان به ارتعاش درمی‌آوریم و شـــنونده هماهنگی بین این دو صدا را احساس می‌کند و بار دیگر ۲۵۶ و ۱۰۲۴ هرتز را به‌طور هم‌زمان به ارتعاش درمی‌آوریم و مجدداً ۵۱۲ و ۱۰۲۴ هرتز را. در تمام این حالت‌ها احساس هماهنگی در ذهن فراگیران نقش می‌بندد، چرا که آن‌ها از دو بسامدی که با هم می‌شـــنوند و ظاهراً با یکدیگر اختلاف زیادی هم دارند، یک صدا می‌شنوند.

▲ شکل ۳. سنتور یک ساز ایرانی که دارای ۷۲ تار مرتعش است.

۴. نتیجه‌گیری

آموزش مفاهیـــم صوت برای دانش‌آمـــوزان و معلمان در نظام آموزشـــی ما یکی از موضوع‌های چالش‌برانگیز اســـت زیرا زمینه‌های کاربرد و اجرای عملی برنامه‌های آموزشـــی آن فراهم نشـــده است و فقط در کتاب‌های پیش‌دانشگاهی، آن هـــم به‌طور مختصـــر به آن پرداختـــه و فصلی را به آن اختصاص داده‌اند. در نتیجه زمینه‌های ذهنی و ابزار مناسب بـــرای تدریس و آموزش مفاهیم آن وجود ندارد و در نتیجه دانش‌آموزان زیبایی‌های آموزش صوت را دریافت نمی‌کنند. بنابراین برای تدریس جنبه‌هایی از صوت که حالت کاربردی و عملـــی دارد، باید از ســـازوکارهای مناســـب و اجرایی و خلاقانـــه بهره گرفت. در این مقالـــه به‌عنوان قدمی هرچند کوچک در راســـتای اهداف گفته شده، ابتدا عوامل مؤثر بر تولید صوت در تارهای صوتی مورد بررسی قرار گرفته و در پایان با اســـتفاده از تارهای صوتی و دیاپازون و نرم‌افزارهای مناســـب، راهبردهایی عملی و اجرایی برای آموزش مفاهیم صوت ارائه شـــده است و به این نتیجهٔ مهم رسیده‌ایم که به کمک چند وسیلهٔ سادهٔ موســـیقایی و کمی اطلاعات راجع به آن‌ها می‌تـــوان روش‌های نو و خلاقانه‌ای را برای آموزش مفاهیم صوت ارائه کرد.

منابع

۱. کیانی؛ مجید، **هفت دســـتگاه موسیقی ایران**، نشر مؤلف، چاپ اول، پاییز (۱۳۶۸)

۲. احمـــدی، احمـــد- همـــکاران، **فیزیـــک دورهٔ پیش‌دانشگاهی علوم ریاضی**، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درســـی، چاپ یازدهم، (۱۳۹۱)

۳. پورتـــراب؛ مصطفی کمال، **تئوری‌موسیقی**، نشر مؤلف، چاپ پنجم، (۱۳۷۰)

۴. شـــهمیری؛ امیـــن، **صوت‌شناســـی در موسیقی**، نشـــر نـــی، چاپ دوم، (۱۳۸۸)

۵. اسمـــاعیـــل‌زاده، غلام‌حسین، **مقدمه‌ای بـــر آکـــوستیـــک ســـازهای زهـــی و بادی**، نشر مؤلف، چاپ اول(۱۳۸۴)

6. Jes'us A Torres, and Pablo L Rend' on, Asimple method for synthesizing and producing guitar sounds, EUROPEAN JOURNAL OF PHYSICS (2013).