

## آیا دیدن نغمه‌های موسیقایی ممکن است؟

ایوب بنوشی

استادیار پژوهشکده‌ی علوم و فنون هسته‌ای  
ayoubbanoushi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۱۹

### چکیده

این مقاله نخستین مقاله‌ای است که با هدف آشتی دادن موسیقی دانان ایرانی با مفاهیم فیزیکی حاکم بر پدیده‌های موسیقایی می‌نویسم. در این مقاله به یک نغمه یا نت پرداخته می‌شود. نغمه کوچک‌ترین واحد تشکیل دهنده‌ی یک قطعه‌ی موسیقی است. نغمه‌ی بیش‌تر سازها نغمه‌های مرکبی هستند که می‌توان آن‌ها را متشکل از نغمه‌های ساده‌ای به نام هماهنگ‌ها تصور کرد. در این مقاله نشان داده خواهد شد که چگونه به کمک ریاضیات و فیزیک می‌شود هماهنگ‌های یک نغمه‌ی مرکب را دید و از این نمایش تصویری برای مطالعه‌ی دیداری، و نه شنیداری موسیقی استفاده کرد. در این مقاله، تلاش شده است چند اصطلاح فیزیکی پایه‌ای به نام‌های بسامد<sup>۱</sup>، طول موج، دوره‌ی گردش، حوزه‌ی زمان، حوزه‌ی بسامد، و هماهنگ توضیح داده شود. به نغمه‌ی ساده‌ی یک دیاپازون پرداخته، و نشان داده خواهد شد که اهمیت آن چیست و چگونه می‌توان نغمه‌ی مرکب سازهای دیگر را، دست کم در عالم نظر، با ترکیب نغمه‌های ساده‌ی چند دیاپازون ساخت. مفهوم حوزه‌ی بسامد و هماهنگ‌ها روشن، و نشان داده می‌شود نغمه‌های مشابه سازهای مختلف چه تفاوتی باهم دارند؛ و بالاخره سه مشخصه‌ی مهم صدا به نام‌های بلندا<sup>۲</sup>، نواک، و شیوش معرفی خواهد شد.

**واژگان کلیدی:** فیزیک موسیقی، نغمه<sup>۳</sup>، بلندا، نواک<sup>۴</sup>، شیوش<sup>۵</sup>، هماهنگ<sup>۶</sup>

### ۱. مقدمه

به‌ویژه نغمه‌های موسیقایی را می‌شود از دیدگاه‌هایی متفاوت بررسی کرد.

اگر موسیقی را فرایندی بدانیم شامل تولید نغمه توسط ساز یا خواننده، انتقال آن در فضا، و دریافتش توسط شنونده؛ تفاوت دیدگاهی که در مورد ماهیت نغمه به آن اشاره شد در تمامی این بخش‌ها نیز به‌گونه‌ای پدیدار می‌شود. به عبارت دیگر، می‌توان سازوکار تولید نغمه در سازها را از جنبه‌ی

جنگلی را تصور کنید که هیچ گوش شنوایی در آن نیست. اگر درختی در این جنگل بیفتد، آیا صدایی تولید می‌شود؟ این پرسشی است که معمولاً برای نشان دادن ماهیت دوگانه‌ی صدا طرح می‌شود. صدا از سویی تغییرات و لرزش‌هایی است که در فشار هوا ایجاد می‌شود و از سوی دیگر برداشت دستگاه شنوایی انسان (گوش و اعصاب مرکزی) از این تغییرات فشار است. به این ترتیب، صدا و

موسیقایی بررسی کرد و یا از جنبه‌ی فیزیکی. فواصل موسیقایی را از دیدگاه یک موسیقی‌دان تحلیل، و یا قواعد ریاضی حاکم بر آن‌ها را بررسی کرد. و بسیاری دوگانه‌های دیگر از این دست.

حفظ، ارتقا، و نوآوری در آهنگ‌سازی، سازسازی، نوازندگی، صدابرداری، ضبط، بازپخش، و ... بدون توجه به این جنبه‌های گوناگون ممکن نیست. در دنیای غرب به این مهم توجه شده است و افراد، دانشگاه‌ها، و مؤسسه‌های پژوهشی فعالی در حوزه‌های فیزیک، ریاضی، مهندسی، و حتی پزشکی هستند که به موسیقی پرداخته‌اند (برای نمونه مراجع کتاب فله‌چر را بنگرید [۱]). در ایران، شوریختانه، از طرفی شمار افرادی که تخصص دوگانه در موسیقی و علوم تجربی داشته باشند اندک است (اگر صفر نباشد) و از طرف دیگر، مؤسساتی که این مقوله را جدی بگیرند و یا بودجه‌ای به آن اختصاص دهند، اگر هم باشند آن قدر کم‌شمارند که صدایشان به جایی نمی‌رسد. در چنین شرایطی، خوب است که زبانی مشترک و تا جایی که می‌شود ساده یافت تا اهل موسیقی و اهل فیزیک و ریاضیات بتوانند باهم گفت‌وگو کنند و هم‌دیگر را بفهمند. سنگ بنای هر قطعه‌ی موسیقایی نت یا نغمه است. این مقاله تلاشی است برای بیان آنچه اهل فیزیک و ریاضی از نغمه در ذهن دارند به گونه‌ای که موسیقی‌دان‌ها و هنرجویان موسیقی را، که شاید میانه‌ی چندان‌ی با عدد و رقم نداشته باشند، خوش آید و سردرگم‌شان نکند. پس فرض می‌شود که خواننده‌ی این مقاله اطلاعات موسیقایی‌ای دست‌کم بیش از خود من داشته باشد (که چندان هم زیاد نیست) ولی ریاضیات چندان‌ی نداند.

یک فیزیک‌دان برای مطالعه‌ی نغمه‌ی یک ساز دو روش را می‌تواند برگزیند. یکی بررسی نغمه در حوزه‌ی زمان است و دیگری بررسی نغمه در حوزه‌ی بسامد (فرکانس). بررسی در حوزه‌ی زمان به‌سادگی یعنی ببینیم با گذشت زمان صدای نغمه چگونه کم و زیاد می‌شود. بررسی در حوزه‌ی بسامد، که شاید کمی دور از تجربیات روزمره‌ی ما باشد، یعنی ببینیم چه

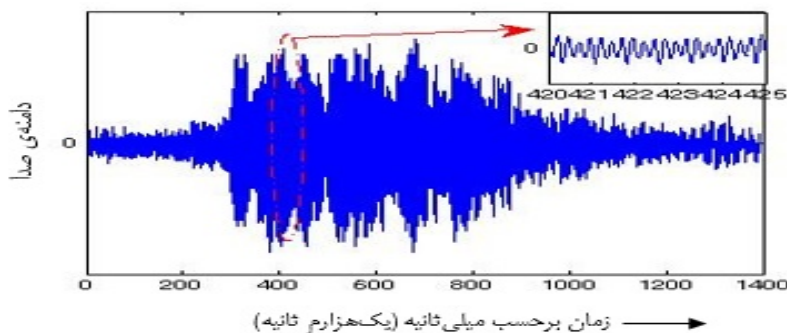
بسامدهایی در صدای یک نغمه وجود دارد و قدرت هر کدام از آنها چه‌قدر است. البته یک موسیقی‌دان هر دوی این تحلیل‌ها را در عمل با گوش خود انجام می‌دهد. من می‌خواهم آنچه را که او با گوش خود انجام می‌دهد روی کاغذ بکشم تا با چشمانش نیز آن را ببیند.

به این منظور، ابتدا ارتباط بین نغمه و تغییر فشار هوا نشان داده می‌شود. سپس با توسل به نغمه‌ی ساده‌ی یک دیپازون، مفهوم موج، به‌ویژه موج سینوسی که سنگ بنای همگی امواج است، بیان، و از آنجا بسامد موج و نغمه استنتاج می‌شود. سپس به حوزه‌ی بسامد پرداخته خواهد شد تا در نهایت نشان داده شود چرا، برای نمونه، نغمه‌ی دوی یک سازی مانند سنتور با نغمه‌ی دوی سازی دیگر مانند نی متفاوت است.

## ۲. بررسی نغمه‌ها در حوزه‌ی زمان

یک نغمه‌ی موسیقایی پیش از هر چیز یک نوع صداست. صدا یعنی تغییرات فشار هوا؛ به شرطی که این تغییرات به گوش ما برسد. اگر هوای دم گوش ما به هر علتی لرزانده شود (مثلاً توسط یک ساز)، به‌عبارتی فشارش کم و زیاد شود، این تغییرات وارد گوش می‌شود و در آنجا پس از پشت سر نهادن فرایندی شگفت و پیچیده به نشانه‌هایی الکتریکی تبدیل، و به مغز مخابره می‌شود و به ما احساس شنیدن می‌دهد (فصل ۵ از [۲]).

نغمه‌ی نواخته شده‌ی یک ساز باعث می‌شود فشار هوا با تغییر زمان کم و زیاد شود. یک راه مناسب برای نشان دادن تغییرات فشار با زمان این است که دو محور عمود برهم رسم کنیم؛ نام محور افقی را محور زمان بگذاریم و نام محور عمودی را محور فشار هوا؛ درست همانطور که در شکل ۱ دیده می‌شود. منحنی ترسیم شده در این شکل نشان می‌دهد که اندازه یا مقدار فشار هوا در زمان‌های متوالی تغییر کرده است.



شکل ۱. صدای یک نهنگ. این شکل تغییرات اندازه‌ی صدا را با گذشت زمان نشان می‌دهد. شکل کوچک بالایی حدود ۰/۰۰۵ ثانیه از این صدا را جداگانه نشان می‌دهد تا تغییرات بهتر دیده شود.

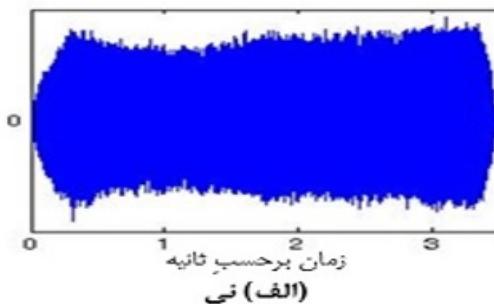
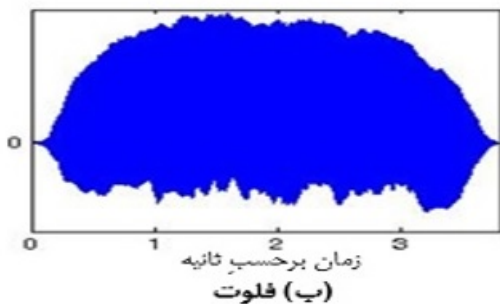
مانند سنتور (شکل ۲-ب) دشت‌شان کوتاه و فرودشان طولانی‌تر است.

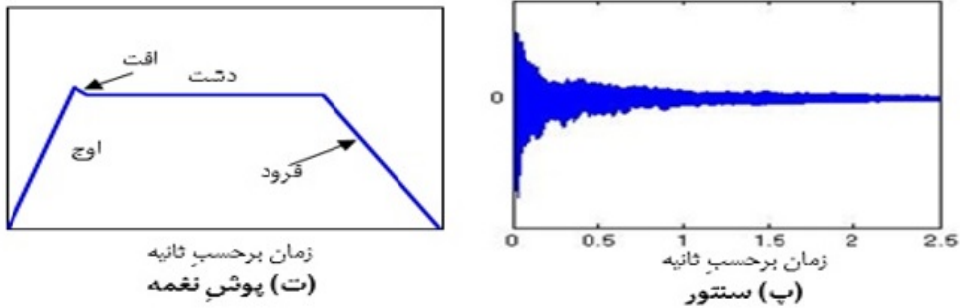
### – نغمه‌ی ساده، دیاپازون، و موج سینوسی

همان‌طور که در شکل‌های ۲-الف تا پ دیده می‌شود، تغییرات فشار صدای نغمه‌ی سازها معمولاً بسیار پیچیده است و مشاهده و مطالعه‌ی این تغییرات دست‌کم با چشم دشوار است. با این حال، خوشبختانه، وسیله‌ای هست به نام دیاپازون که نغمه یا نت ساده (در واقع ساده‌ترین نغمه) را تولید می‌کند. شکل ۳-الف نغمه‌ای را که یک دیاپازون C4 می‌تواند تولید کند، نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌بینیم فشار صدای ناشی از این نغمه نوسان‌های منظمی است که کم‌کم میرا می‌شود. اگر این میرایی را موقتاً فراموش کنیم، آنگاه شکل نغمه (یا به اصطلاح ریاضی‌اش، شکل موج آن) همانند آن چیزی می‌شود که در شکل ۳-ب می‌بینیم. این شکل در عالم ریاضیات به موج سینوسی معروف است.

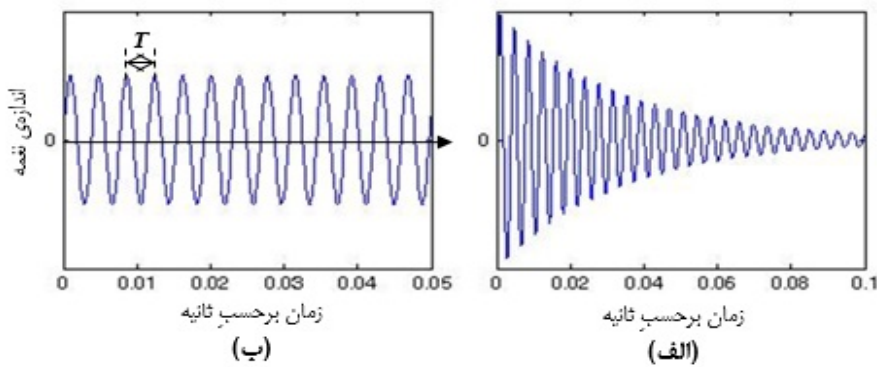
شکل‌های ۲-الف و ۲-ب تغییرات زمانی فشار هوا در یک نقطه از فضا را که هنگام نواخته‌شدن نت دوی وسط (C4) توسط، به ترتیب، یک نی و یک فلوت ایجاد می‌شود نشان می‌دهد. این شکل‌ها نشان می‌دهند که صدا ابتدا با افزایش زمان بلند و بلندتر می‌شود (فشار هوا زیاد می‌شود)؛ سپس کمی افت می‌کند و حدود ۳ ثانیه ثابت می‌ماند تا اینکه در نهایت میرا، و خاموش شود. این روندی است که کم و بیش نغمه‌های همگی سازها طی می‌کنند و خلاصه‌اش در شکل (۲-ت) نشان داده شده است.

شکل ۲-ت منحنی‌ای را نشان می‌دهد که به آن منحنی پوش صدای یک نغمه می‌گویند: اوج، افت اولیه، یک دشت و سپس فرود. سازهای بادی که صدایی کش‌دار و با ماندگاری طولانی دارند دشتی وسیع‌تر را پشت سر می‌نهند تا به آغاز فرودشان برسند؛ درحالی‌که نغمه‌ی سازهای زهی





شکل ۲. نغمه‌ی C4 یک (الف) نی، (ب) فلوت، و (پ) ستور. با وجود اختلافی که در رفتار این نغمه‌ها دیده می‌شود. تغییرات زمانی آن‌ها همواره از یک الگوی کلی تبعیت می‌کند. این الگوی کلی که به آن پوش نغمه می‌گویند در شکل (ت) نشان داده شده است.

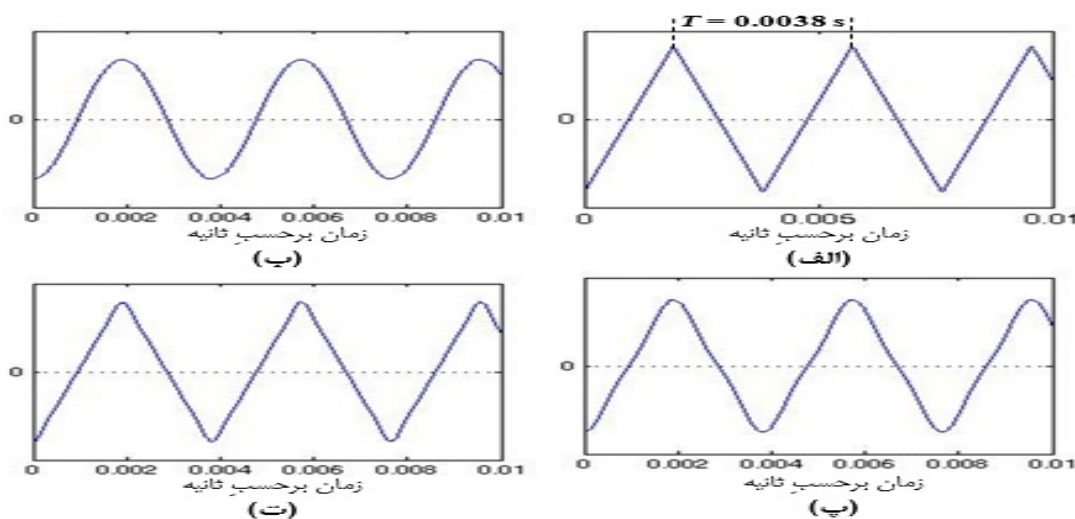


شکل ۳. نغمه‌ی دیپازون C4 ( $T$  برابر با  $3/8$  میلی ثانیه). شکل (الف) افت تدریجی این نغمه را نشان می‌دهد و در شکل (ب) این افت موقتاً کنار گذاشته شده است؛ گویی که نغمه تا ابد ادامه دارد.

موج سینوسی یک موج متناوب است؛ یعنی اندازه‌ی آن با گذشت زمان پی‌پی به صورت منظم کم و زیاد می‌شود و خودش را تکرار می‌کند. فاصله‌ی هر دو نقطه‌ی مشابه در این موج را دوره‌ی گردش موج می‌گویند. این کمیت در شکل با  $T$  نشان داده شده است. اگرچه دوره‌ی گردش مهم است، برای یک موسیقی‌دان وارون آن آشناتر است. وارون دوره‌ی گردش همان چیزی است که به آن بسامد (فرکانس) موج سینوسی یا بسامد نغمه‌ی ساده می‌گوییم:  $f = \frac{1}{T}$ . دوره‌ی گردش را با یکای ثانیه یا میلی‌ثانیه (یک هزارم ثانیه) می‌سنجند و بسامد را با یکای دور در ثانیه یا هرتز (Hz) یا کیلوهرتز (kHz معادل هزار هرتز). برای نمونه، دیپازون C4 ما دوره‌ی گردش برابر  $3/8$  میلی‌ثانیه ( $0.0038$  ثانیه)، و بسامدی برابر  $261/5$  Hz دارد؛ که انتظارش را هم داریم. هستند. این موج‌های سینوسی را هماهنگ‌های موج مثلی،

موج سینوسی بسیار مهم است؛ زیرا هر موج متناوب دیگری را، هر چقدر هم پیچیده باشد، می‌شود با روی هم گذاشتن چند موج سینوسی با بسامدها و دامنه‌های مختلف و البته زمان‌های شروع متفاوت ساخت. برای این که این مسئله را به چشم بینیم، سازی را تصور کنید که تغییرات زمانی نغمه‌های خروجی‌اش به شکل مثلث‌هایی باشد که مدام تکرار می‌شوند. تغییرات زمانی نغمه‌ی دوی این ساز همانند آنچه در شکل ۴-الف نشان داده شده است خواهد بود. شکل‌های ۴-ب تا ۴-د نشان می‌دهند که چگونه می‌توان با برهم‌نهی موج‌های سینوسی نغمه‌ی مرکب این ساز فرضی را ساخت. توجه کنید که بسامدهای موج‌های سینوسی به‌کاررفته در ساخت نغمه‌ی ساز ما مضاربی درست از کوچک‌ترین بسامد موجود (که همان  $f = 1/T$  است) هستند. این موج‌های سینوسی را هماهنگ‌های موج مثلی،

و بسامدهای نظیر به هر کدام را بسامد آن هماهنگ گویند.



شکل ۴. ساخت نغمه‌ی C4 یک ساز فرضی. (الف) شکل موج نغمه‌ی ساز. (ب) شکل موج هماهنگ نخست. (پ) شکل موج مجموع سه هماهنگ نخست. (ت) شکل موج مجموع هفت هماهنگ نخست

### ۳. بررسی نغمه‌ها در حوزه‌ی بسامد

درست است که در نگاه نخست صحبت از زمان و تغییرات صدا در حوزه‌ی زمان با طبیعت ذهن و ادراک ما سازگارتر است (چون مکان و زمان برای ما عینیت دارد)، با وجود این، درک بعضی از پدیده‌ها با این روش دشوار است. نمونه‌اش وجود نغمه‌های ساده یا هماهنگ‌ها در یک نغمه‌ی مرکب. توضیح چنین پدیده‌هایی در حوزه‌ی بسامد آسان‌تر است. برای اینکه درکی از حوزه‌ی بسامد داشته باشیم، بازهم مانند آنچه برای حوزه‌ی زمان انجام شد، دو محور عمود برهم در نظر می‌گیریم. محور افقی را این‌بار به جای زمان برحسب بسامد درجه‌بندی می‌کنیم ولی محور عمودی را کماکان همان اندازه یا مقدار فشار صدا باقی می‌گذاریم.

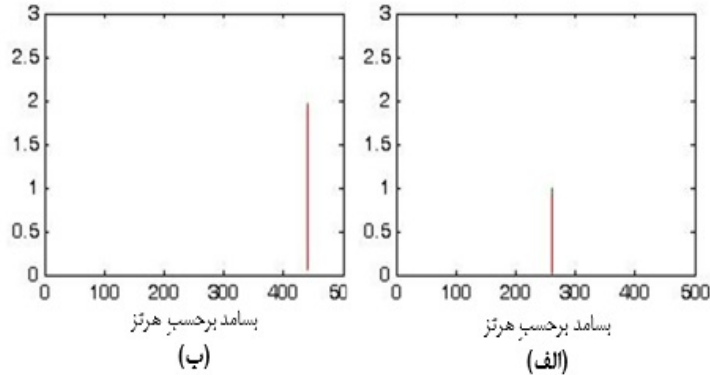
اکنون اگر بخواهیم نغمه‌ی ساده‌ی دیاپازون C4 را در این صفحه نمایش دهیم، در محل بسامد این نغمه ( $261/5$  Hz) یک خط عمودی می‌کشیم؛ درست مانند آنچه در شکل ۵ - الف می‌بینیم. ارتفاع خط را هم متناسب با قدرت یا اندازه‌ی صدای نغمه ترسیم می‌کنیم. به این ترتیب، هرچه صدا قوی‌تر باشد، ارتفاع این خط هم بیش‌تر می‌شود.

نغمه‌های موسیقایی هرچقدر هم که پیچیده باشند، و از هر سازی (به غیر از بعضی از سازهای کوبه‌ای) که آمده باشند از دیدگاه ریاضی یک وجه مشترک مهم دارند: همگی آنها امواجی متناوب هستند؛ پس طبق قاعده‌ی بالا می‌شود صدای آنها را مجموعی از چند نغمه‌ی ساده دانست؛ به عبارت دیگر با ترکیب صدای چند دیاپازون که بسامد هر کدام از آنها مضربی از بهترین دیاپازون است می‌شود نغمه‌ی همه‌ی سازها را ساخت. گمان نکنید که این کار عملی نیست. این روش یکی از روش‌های ساخت نغمه‌ی الکترونیکی یا رایانه‌ای است [۳]. یعنی در رایانه نغمه‌های ساده‌ای با بسامدهایی که مضربی از بسامد بهترین نغمه هستند می‌سازند و آنها را با قواعدی باهم جمع می‌کنند. البته دانستن این قاعده‌ها کمی دانش ریاضی می‌خواهد.

گفته شد که در نغمه‌ی مرکب یا پیچیده‌ی هر ساز، در واقع، نغمه‌های ساده‌ی تک بسامدی هست که باهم جمع شده‌اند. اگر به شکل موج نشان داده شده در شکل ۲-الف بنگریم، چنین قاعده‌ای را شاید اصلاً نتوانیم ببینیم. پرسش این است: آیا روش ساده‌تری برای دیدن بسامدهای موجود در یک نغمه‌ی مرکب، یا به عبارت دیگر هماهنگ‌های آن، وجود دارد؟ بله هست و تحلیل حوزه‌ی بسامد نام دارد.

در شکل ۵ ب نغمه‌ی دیاپازون la(440 Hz) هم ترسیم شده است. اگر این دو شکل را باهم مقایسه کنیم، می‌بینیم که خط la از خط do بلندتر است. این صدای بلندتر یعنی

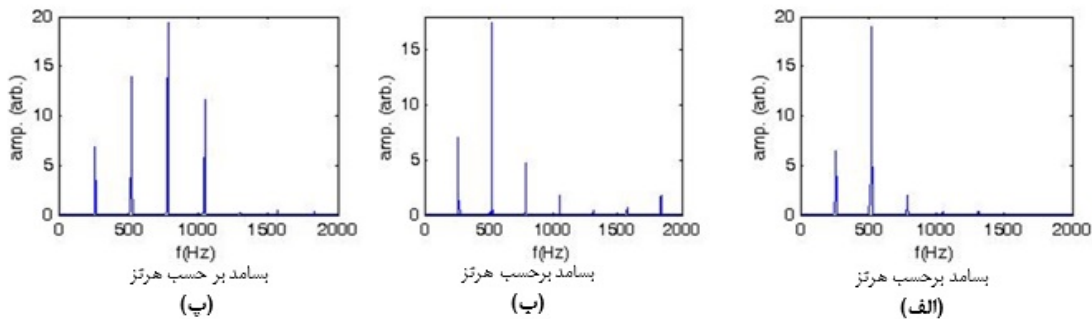
صدای نغمه‌ی دیاپازون la می‌ما از صدای نغمه‌ی دیاپازون do می‌قوی‌تر است. به عبارت دیگر، نغمه‌ی la محکم‌تر نواخته شده است.



شکل ۵. نمایش نغمه‌های ساده‌ی دیاپازون در حوزه‌ی بسامد. (الف) نغمه‌ی C4. (ب) نغمه‌ی A5. قدرت نغمه‌ی A5 از C4 بیش‌تر است.

اکنون به نغمه‌های do ای که در شکل ۲ الف تغییرات زمانی‌اش را دیدیم بازگردیم. اگر بسامدهای موجود در این نغمه را، که همان هماهنگ‌هایش هستند، در صفحه‌ی بسامد

بکشیم، این بار شکلی متشکل از چند خط خواهیم داشت (شکل ۶).



شکل ۶. بیناب نغمه‌ی C4 برای (الف) یک نی، و (ب) یک فلوت. این دو ساز سازهایی به نسبت مشابه هستند به همین دلیل بیناب‌های این دو نه کاملاً، بلکه تا حدودی به هم شبیه است. نسبت اندازه‌ی هماهنگ سوم به اندازه‌ی هماهنگ اول در نی از نظیرش برای فلوت کوچک‌تر است. از سوی دیگر هماهنگ چهارم در نی تقریباً صفر است، اما در فلوت این‌طور نیست. برای مشاهده‌ی بیناب سایر نغمه‌های نی مراجعه کنید به [۴] مراجعه کنید. (پ) بیناب نغمه‌ی C4 برای یک سنتور. همان‌طور که دیده می‌شود این بیناب با

بیناب دوی سازهایی بادی تفاوت‌های جدی دارد؛ مگر در محل یا همان بسامد هماهنگ‌ها

به شکلهایی شبیه به این، بیناب (طیف) یک صدا یا نغمه می‌گویند. به بسامدهای خطوط بینابی و رابطه‌ی بین آنها توجه کنید. کم‌ترین بسامد، که به آن بسامد پایه یا هماهنگ

نخست می‌گویند، در  $261/5$  هرتز اتفاق افتاده است؛ دومی در  $2 \times 261/5 = 523$  است و هماهنگ دوم نغمه نام دارد؛

سومی در  $3 \times 5/261 = 754/5$  است و هماهنگ سوم نغمه نام دارد؛ و به همین ترتیب.

اکنون پرسش این است: بیناب یک نغمه را چگونه به دست آوریم؟ این کار دیگر با روش‌های ابتدایی ریاضی و بدون استفاده از رایانه ممکن نیست! البته شنیدن نام روش ریاضی‌ای که برای این کار لازم است شاید خالی از لطف نباشد: تبدیل فوریه (فوریه یک ریاضی‌دان فرانسوی بود). (فصل ۴ از [۵])

#### ۴. بلنداء، نواک، و شیوش نغمه‌ها

نغمه‌های سازها مانند هر صدای دیگری مشخصاتی دارند که یکی بلندای آن و دیگری جنس، رنگ، یا شیوش آن است. البته بیش‌تر نغمه‌های موسیقایی مشخصه‌ی اختصاصی‌ای هم دارند که ممکن است در صداهای دیگر نباشد و آن نواک است. این مشخصه‌ها صرفاً کمیت‌های فیزیکی نیستند، بلکه قضاوت ذهن و دستگاه شنوایی ما هستند از برآیند چند کمیت فیزیکی.

آنچه در چند خط بعدی خواهد آمد بسیار ساده‌انگارانه است، اما فعلاً چاره‌ای نیست. هدف این است بلنداء، نواک، و شیوش به‌سادگی تعریف شوند.

بلنداء یعنی شدت صدا. هرچه، برای نمونه، زخمه یا مضراب را محکم‌تر بزنیم، نغمه‌ی بلندتری از ساز خواهیم شنید. نواک آن مشخصه‌ای است که اجازه می‌دهد بتوانیم نغمه‌ها را برحسب زیر و بمی‌شان مرتب کنیم. هرچه بسامد نغمه کمتر باشد صدا بم‌تر است.

شیوش آن مشخصه‌ای از صداست که باعث می‌شود دو صدا با بلنداء و نواک مشابه را متفاوت بشنویم. برای نمونه، اگر دو نغمه‌ی C4 هم بلندای نی و فلوت را (شکل ۲) متفاوت می‌شنویم، نه به این دلیل است که کوک‌های مختلفی دارند، بلکه شیوش آنها فرق می‌کند.

#### – شیوش یک نغمه و بیناب آن

از آنچه به عنوان تعریف بلنداء و نواک گفته شد، تلویحاً فهمیده می‌شود که بلنداء را بیش از هر کمیت فیزیکی دیگر دامنه یا قدرت صدا تعیین می‌کند، و نواک را بسامد آن. اما در تعریف شیوش، به هیچ کمیت فیزیکی‌ای اشاره‌ای نشد. با

وجود این، در تعیین شیوش صدا هم یک پدیده‌ی فیزیکی هست که بسیار اثرگذار است: بیناب صدا.

بار دیگر نغمه‌های do نشان داده شده در شکل ۶ – الف و ب را با دقت بنگرید. خط‌های عمودی هر دو شکل در محل هماهنگ‌ها ایستاده‌اند. اما نسبت ارتفاع خط‌ها در دو شکل باهم فرق دارد. این اختلاف ارتفاع یا قدرت هماهنگ‌هاست که باعث می‌شود این دو نغمه به‌گوش ما متفاوت برسند. یعنی شیوش نغمه‌ها را شکل بیناب آن نغمه‌ها تعیین می‌کند.

البته بیناب تنها کمیت تعیین‌کننده‌ی شیوش نیست. نحوه‌ی اوج و فرود نغمه نیز مهم است. آزمودن این پدیده چندان دشوار نیست. اگر نغمه‌ای را، مثلاً نغمه‌ی do نی شکل ۲الف را از انتها به ابتدا بشنویم (این کار به‌کمک رایانه و احتمالاً توسط میزهای صدابرداری امکان‌پذیر است) آنچه می‌شنویم دیگر صدای نی نخواهد بود (می‌شود گمان کرد صدای سازی جدید است به نام نی!!)؛ اما اگر بیناب نغمه‌ی ساز نی را ترسیم کنیم، همان بیناب نغمه‌ی ساز نی خواهد بود. اختلاف شیوش دو صدا با بیناب‌های مشابه نشان می‌دهد که شیوش به کمیت‌هایی به‌غیر از شکل بیناب هم بستگی دارد.

#### ۵. نتیجه‌گیری

آنچه در این مقاله آمد را می‌توان چنین خلاصه کرد:

۱- نغمه‌ای که یک دیاپازون تولید می‌کند نغمه‌ی ساده یا یک موج سینوسی است که تنها یک بسامد دارد.

۲- نغمه‌ی مرکب یک ساز واقعی از چند نغمه‌ی ساده تشکیل می‌شود. این نغمه‌های ساده را هماهنگ‌های نغمه‌ی مرکب می‌گوییم. هماهنگ اصلی دارای کم‌ترین بسامد یا بسامد پایه است و هماهنگ‌های بالاتر به‌ترتیب بسامدهایی ۲، ۳، ۴، و ... برابر بسامد پایه دارند.

۳- هر نغمه‌ای دست‌کم سه مشخصه دارد: بلنداء، نواک، و شیوش. مهم‌ترین کمیت‌های فیزیکی تعیین‌کننده‌ی این سه ویژگی، به‌ترتیب، عبارت‌اند از قدرت، بسامد، و بیناب نغمه.

۴- اختلاف صدای نغمه‌های مشابه دو ساز مختلف به‌دلیل تفاوت شیوش آنهاست.

#### ۶. کار آینده

## ۷. سپاس‌گزاری

از آقایان امین احمدی و حسین سلیمانی سپاسگزارم که مرا تشویق به نوشتن این مقاله کردند.

در این مقاله، مفهوم نواک فقط تعریف شد. در مقاله‌ی بعدی به‌صورت مفصل به نواک، فاصله‌ی موسیقایی و یکاهای آن پرداخته می‌شود.

## ۸. مأخذ

- [۱] فله‌چر، نویل اچ، و راسینگ توماس د، "فیزیک سازها"، انتشارات دانشکده‌ی صداوسیما، ۱۳۸۸.
- [2] Rossing, T. D. *The Science of Sound*, Addison-Wesley Publishing Company, 1990.
- [3] Roads C. *The Computer Music Tutorial*, The MIT Press, 1996.
- [۴] محبتی، مهرناز، "شناسایی الگوی جهت‌وری ساز نی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی صدا، دانشکده‌ی صداوسیما، ۱۳۸۸.
- [5] Oppenheim, A. V., et al. *Signals and systems*, Prentice-Hall, 1997.

## پی‌نوشت

1. Fundamental: بسامد پایه
2. Loudness
3. Note
4. Pitch
5. Timbre
6. Harmonic