

مطالعه درجات اصلی گام موسیقی ایرانی از روی طیف نت‌های گام

ارژنگ ناجی

آزمایشگاه تحقیقاتی آکوستیک، دانشگاه تربیت معلم

(دریافت مقاله: ۸۴/۹/۶؛ دریافت نسخه نهایی: ۸۵/۷/۳)

چکیده

در این مقاله با بررسی طیف نت‌های موسیقی ایرانی برای اولین بار و با نوعی میانگین‌گیری بین بسامدهای تقریباً هماهنگ تشکیل دهنده هر نت، بسامد متناظر با ارتفاع را که یک کمیت ذهنی (Subjective) است محاسبه کرده‌ایم که نتیجه آن با آزمایش تطبیق می‌کند. سپس فاصله درجات اصلی موسیقی ایرانی را از روی نغمات نواخته شده توسط اساتید بنام به دست آورده‌ایم که نتایج آن نشان می‌دهد ریشه‌های گام موسیقی ایرانی منسوب به فیثاغورث می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تن مرکب، بسامدهای فرعی، طیف، گام موسیقی ایرانی، ارتفاع، گام فیثاغورث

۱. مقدمه

ارتباط دارد اما ارتباط این دو هنوز به طور کامل کشف نشده است. برای نشان دادن اهمیت موضوع، طیف نت *do* که با تار نواخته شده در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل محور افقی بسامد و محور عمودی شدت می‌باشد. همچنان که از شکل آشکار است نت *do* دارای تعداد زیادی بسامدهای فرعی است که شدت بعضی از آنها از اولین بسامد که بسامد اصلی نامیده می‌شود بیشتر است [۱]. بنابراین نقش این بسامدها را در ارتفاع صدا نمی‌توان نادیده گرفت.

در ارتفاع صداهای موسیقی علاوه بر شدت، مدت زمان و شکل موج مهم‌ترین نقش را بسامدهای تشکیل دهنده آن ایفا می‌کنند. برای صدای ساده که از یک بسامد تشکیل شده ارتفاع صدا همان بسامد است. برای صدای مرکب^۲ که از بسامدهای متعدد تشکیل شده ارتفاع صدا برابر با ارتفاع صدای ساده‌ای است که زیربومی آن با صدای مرکب یکسان باشد. شواهد تاریخی نشان می‌دهد که مطالعه علمی ارتفاع صدا از

ریشه‌های گام موسیقی ایرانی با گام فیثاغورث که در حدود هزار سال پیش فارابی بر مبنای آن گام موسیقی ایرانی را پایه گذاری کرده مرتبط است. مبنای کار فیثاغورث و فارابی اندازه گیری طول سیم بوده و برای نت‌های گام نسبت‌های زیر معرفی شده است:

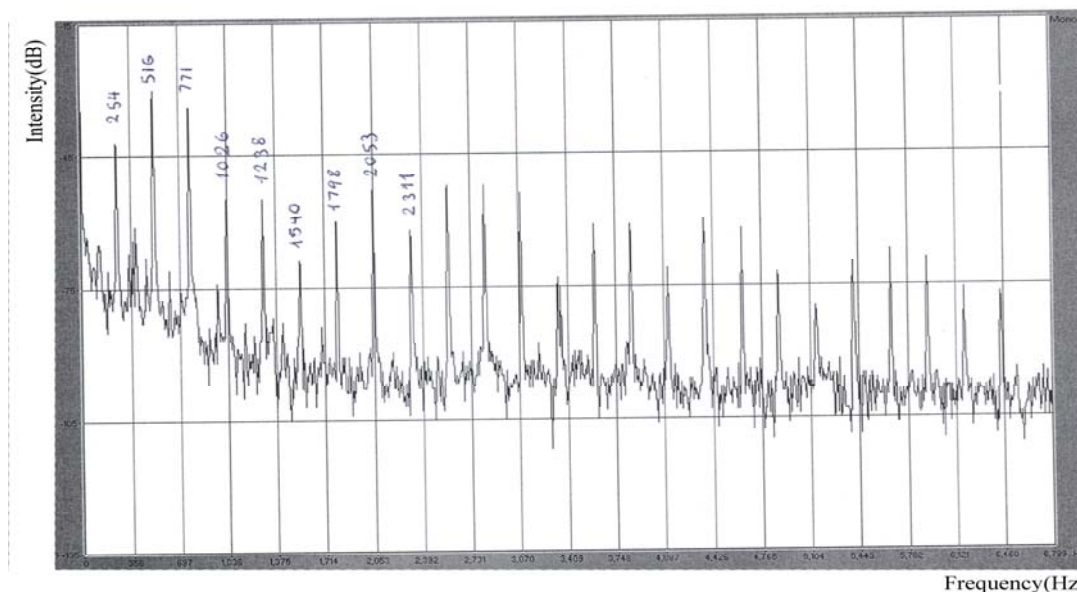
<i>do</i>	<i>re</i>	<i>mi</i>	<i>fa</i>	<i>sol</i>	<i>la</i>	<i>si</i>	<i>do</i>
$\frac{1}{1}$	$\frac{9}{8}$	$\frac{81}{64}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{27}{16}$	$\frac{243}{128}$	$\frac{2}{1}$

در این مقاله قصد داریم با استفاده از روشی جدید بدانیم که پس از گذشت حدود هزار سال از تقسیم بندی فارابی و با توجه به اینکه موسیقی ایرانی سینه به سینه به ما منتقل شده آیا هنوز هم این فواصل حفظ شده است یا خیر؟

امروزه می‌دانیم که ارتفاع صدا یک پدیده ذهنی است که مربوط به ساختمان پیچیده گوش و مغز می‌شود. آنچه مسلم است این پدیده ذهنی با کمیت‌های فیزیکی^۱ تشکیل دهنده صدا

۲. Complex sound

۱. Objective



شکل ۱. طیف نت do.

همکارانش با آزمایشهایی نشان دادند که نظریه هلمهولتز عمومیت ندارد [۵]. آنها با انجام آزمایشهایی دریافتند که اگر تمام بسامدهای هماهنگ را به مقدار $\Delta\omega$ افزایش دهیم (ش. ۲c) اگر چه تفاضل هماهنگها ثابت باقی می ماند، ولی ارتفاع صدا تغییر می یابد و با $\Delta\omega$ رابطه خطی دارد این اثر تحت عنوان اولین انتقال ارتفاع^۳ نام گرفته است [۶]. در شکل ۳ ارتفاع صدا برای سه بسامد $f-g$ ، f ، و $f+g$ و هماهنگهای $n=k+1=7, \dots, 12$ رسم شده است. مطالعه منحنیهای شکل ۳ نشان می دهد که رفتار انتقال ارتفاع به گونه ای است که شیب خطوط متناسب با عکس شماره هماهنگ بسامد مرکزی یعنی $k+1$ است. این پدیده را اثر دومین انتقال ارتفاع^۴ می نامند. فاصله بسامدها از یکدیگر $g = \omega = 200 \text{ Hz}$ می باشد. به عنوان مثال اگر بسامد مرکزی را 1600 Hz در نظر بگیریم دو بسامد مجاور آن 1400 Hz و 1800 Hz هستند. چون بسامد 1600 Hz هماهنگ هشتم 200 Hz است بنابراین چنانچه از نقطه 1600 Hz خطی به موازات محور ارتفاع رسم کنیم منحنی هماهنگ هشتم را در نقطه ای که ارتفاع آن 200 Hz است قطع می کند.

زمان فیثاغورث آغاز شده است. ولی امروزه با وجود تحولات عظیم در امر صدا شناسی، ارتباط ارتفاع با پارامترهای فیزیکی هنوز به طور کامل کشف نشده است.

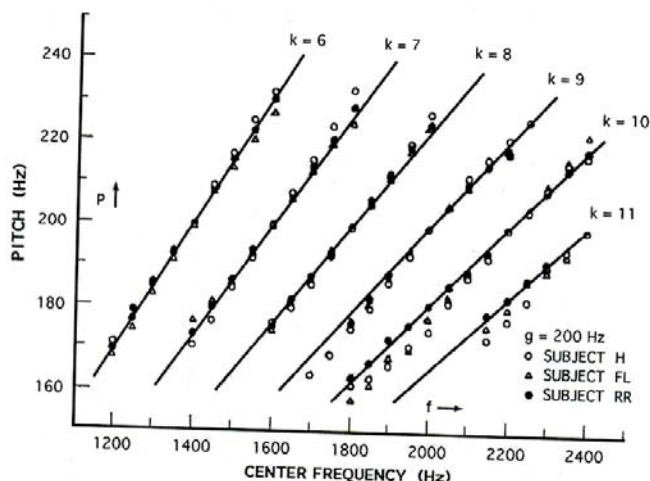
در این زمینه آزمایشهای بسیاری انجام شده که توسط آنها می توان به پیچیدگی ارتفاع صدا پی برد. آزمایشی به صورت زیر انجام گرفته است: اگر یک صدای تناوبی مانند شکل ۲a ایجاد کنیم ارتفاع این صدا برای گوش برابر با ارتفاع یک صدای ساده با بسامد هماهنگ اصلی این صدا یعنی ω می باشد. بسامد هماهنگهای بالاتر و شدت آنها فقط در طنین صدا مؤثر است و به همین علت است که اگر ترومپت و ویلن یک نت هم ارتفاع ایجاد کنند، صداهای آنها از یکدیگر متمایز تشخیص داده می شوند [۲]. اکنون اگر بسامد اصلی ω و چند بسامد اولیه این صدا را حذف کنیم (شکل ۲b) اگر چه طنین صدا تغییر می کند ولی ارتفاع آن ثابت باقی می ماند و برابر با بسامد اصلی آن ω خواهد بود. این پدیده تحت عنوان اثر دریافت باقیمانده^۱ نام گرفته است [۳]. اولین نظریه اثر دریافت باقیمانده مربوط به هلمهولتز می باشد [۴]. هلمهولتز معتقد به دریافت تفاضل هماهنگها توسط گوش بود. شوتن^۲ و

۳. First pitch-shift effect

۴. Second pitch-shift effect

۱. Residue perception effect

۲. Shouten



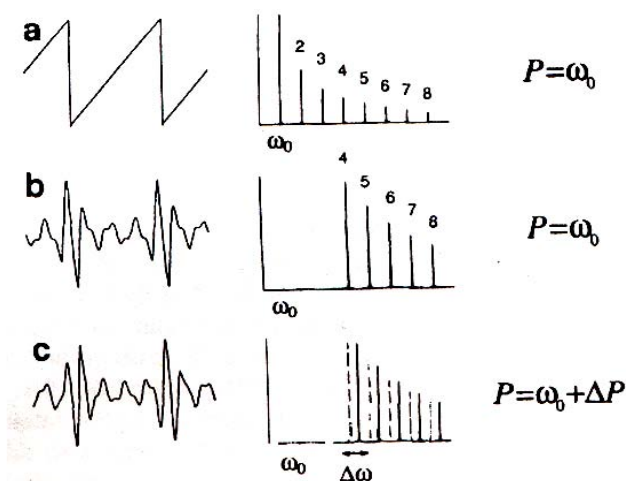
شکل ۳. نمودار ارتفاع برای سه بسامد مختلف با اختلاف ۲۰۰ Hz.

صدا در آوری ارتفاع آن با این نت یکسان خواهد بود که آزمایش نیز این موضوع را تأیید می‌کند.

۲. اندازه‌گیری ارتفاع درجات اصلی گام موسیقی سنتی ایران

در این مقاله تأثیر بسامدهای فرعی در ارتفاع صدا مطالعه شده است. بدین ترتیب که درجات اصلی گام موسیقی از روی نغماتی که اساتید به نام قبلاً نواخته‌اند، گرفته شده و با استفاده از تکنولوژی پیشرفته آنالیز صدا مورد بررسی قرار گرفته است.

در سال ۱۳۳۲ دکتر برکشلی به اتفاق پرفسور حسابی در دانشکده علوم دانشگاه تهران درجات گام موسیقی ایرانی را از روی ثبت ارتعاشات آوازی به دست آوردند [۸]. اما از آنجا که در صداهای موسیقی بسامدهای فرعی دقیقاً هارمونیک نبوده (مضرب صحیح بسامد اصلی نیستند) بنابراین اصوات موسیقی غیر تناوبی می‌باشند. که در این صورت با شمارش ارتعاشات در یک ثانیه نمی‌توان نتیجه قطعی و دقیقی از ارتفاع صدا به دست آورد. آنچه که توسط دکتر برکشلی به دست آمده در واقع بسامد هرت است نه ارتفاع. چرا که ارتفاع یک پدیده ذهنی است که توسط گوش دریافت شده و به احساس مغز از صدا مربوط می‌شود. در پژوهش حاضر از ترکیب بسامدهای فرعی هر نت، بسامدی معرفی شده که متناظر با ارتفاع صدا می‌باشد.

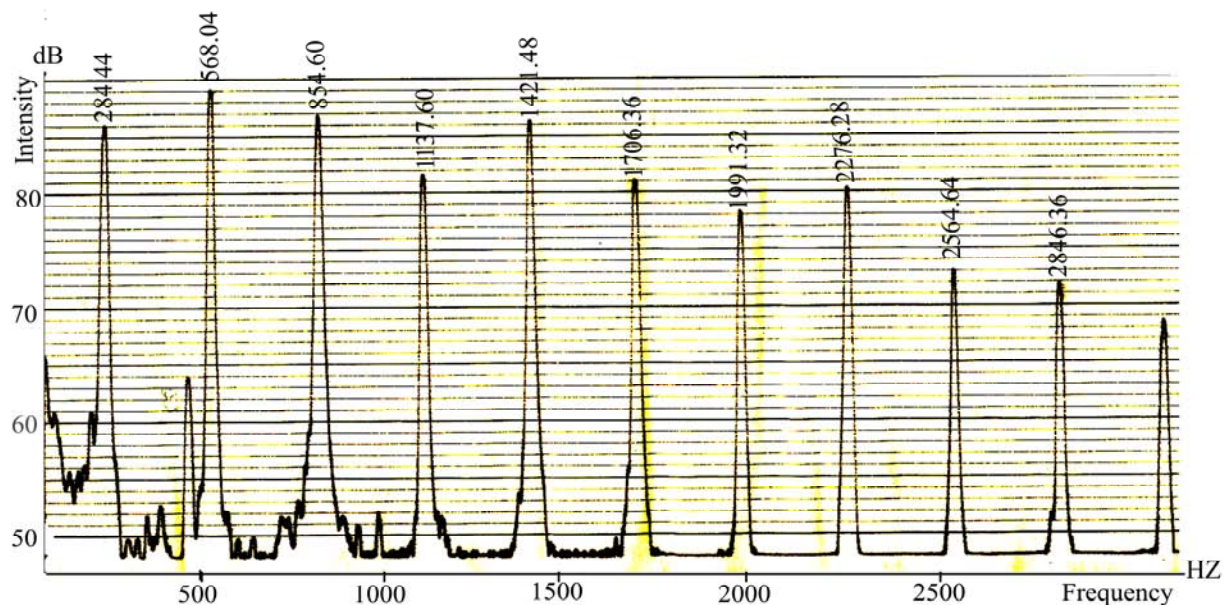


شکل ۴. (a) طیف صدایی با شکل موج دندان اره‌ای (b) تعدادی از هماهنگهای شکل a حذف شده پس شکل موج تغییر می‌کند. (c) هماهنگهای شکل b به مقدار $\Delta\omega$ جابه‌جا شده‌اند.

حال اگر بسامدهای ۱۴۰۰ Hz، ۱۶۰۰ Hz و ۱۸۰۰ Hz همگی به مقدار $\Delta\omega$ انتقال یابند منحنی $n=8$ با معلوم بودن $\Delta\omega$ مقدار انتقال ارتفاع را به دست خواهد داد. آزمایش زیر می‌تواند ما را برای محاسبه ارتفاع صدا در این مقاله یاری دهد. اگر صوتی دارای بسامدهای ۱۰۰۰ Hz، ۱۲۰۰ Hz و ۱۴۰۰ Hz باشد، گوش ۲۰۰ Hz را خواهد شنید. در واقع این صدایی است که بسامدهای فوق هماهنگهای پنجم، ششم و هفتم آن می‌باشند. حال اگر همه آنها به مقدار ۳۶ Hz انتقال پیدا کنند یعنی ۱۰۳۶ Hz، ۱۲۳۶ Hz و ۱۴۳۶ Hz ایجاد شوند، گوش ۲۰۶ Hz را خواهد شنید. این پدیده انتقال ارتفاع نامیده می‌شود. می‌توان گفت که مغز انسان در جستجوی بسامدی است که بسامدهای ایجاد شده نزدیک‌ترین هماهنگهای متوالی آن باشند [۷]. نتیجه فوق می‌تواند ما را در یافتن بسامد ارتفاع نت do در شکل ۱ یاری دهد. داریم:

$$f_{do} = \frac{\frac{254}{1} + \frac{516}{2} + \frac{771}{3} + \frac{1026}{4} + \frac{1231}{5}}{8} + \frac{\frac{1540}{6} + \frac{1798}{7} + \frac{2053}{8} + \frac{2311}{9}}{8} = 255/3$$

عدد فوق بدین معناست که اگر دیاپازونی با بسامد ۲۵۵ Hz به



شکل ۴. طیف نت mi.

برای اینکه بتوانیم سیگنال مورد نظر از نغمه را در حافظه قرار دهیم از روش رهاسازی^۱ استفاده می‌کنیم. عمل تجزیه صدا توسط دستگاه ۲۰۱۰ Heterodyne Analyser, Type B & K انجام شد. سیستم مجهز به BFO^۲ می‌باشد و با استفاده از موتور دستگاه ثابت بسامدهای موجود در سیگنال را از ۲ Hz تا ۲۰۰ kHz جاروب کرده و با روش Heterodyne بسامدهای موجود در حافظه ضبط دیجیتال را با پهنای ۳/۱۶ Hz آشکار می‌کند. برای دقت بیشتر، سرعت ضبط دیجیتال را تا ۲۵ برابر افزایش داده و پس از به دست آوردن بسامدهای سیگنال مجدداً آنها را ۲۵ برابر کاهش می‌دهیم. در این حالت با توجه به امکانات دستگاه، بسامدهای موجود در سیگنال با دقت ۰/۰۱ Hz به دست می‌آید. به عنوان نمونه طیف نت mi در شکل ۴ آورده شده است.

در جدول ۱ بسامد اصلی و بسامد هماهنگهای مراتب بالاتر که با استفاده از طیف هر نت به دست آمده نشان داده شده است. البته این هماهنگها دقیقاً هماهنگ نیستند یعنی مضرب صحیحی از بسامد اصلی نمی‌باشند که یکی از علل آن

در واقع می‌توان گفت که پدیده‌های پسیکوآکوستیک نیز در نظر گرفته شده است. در به دست آوردن نت‌های گام ابتدا این سؤال مطرح می‌شود که چگونه نت‌ها را که اجرا می‌شود منسوب به فارابی بدانیم؟ آنچه مسلم است موسیقی سنتی و درجات گام آن از زمان فارابی به صورت سینه به سینه توسط اساتید بنام به ما رسیده است. زمانی این درجات به طور صحیح اجرا می‌شود که نوازنده با حس و حال طبیعی خود نغمه‌ای را اجرا کند. در غیر این صورت نمی‌توان انتظار داشت که درجات این گام منسوب به فارابی باشد. برای بررسی درجات گام از ردیفهای موسیقی سنتی ایران که توسط نوازنده چیره دست، استاد علی اکبرخان شهنازی در حدود ۴۰ سال پیش با تار نواخته و در آرشیو وزارت ارشاد اسلامی موجود است استفاده نمودیم. برای انتخاب سیگنال مورد نظر ضمن پخش نغمه توسط ضبط حرفه‌ای B & K آن را به دستگاه ضبط دیجیتالی ۷۵۰۲ وارد نمودیم. در آزمایشهای انجام شده حافظه دستگاه و زمان ضبط حافظه طوری انتخاب شده است که اطلاعات را تا بسامد ۵ kHz نشان می‌دهد و این برای بسامدهای موسیقی کافی

است [۹].

۱. Triggering

۲. Beat frequency oscillator

جدول ۱. بسامدهای فرعی نتهای گام و ارتفاع مربوط به هر یک.

	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	f_7	f_8	f_9	f_{10}	$\frac{\sum_{n=1}^N \frac{f_n}{n}}{N}$
do_1	۲۲۵/۰۸	۴۵۰/۴۸	۶۷۳/۰۴	۸۹۹/۲۸	۱۱۲۵/۵۲	۱۳۴۸/۸۴	۱۵۷۶/۶۰	۱۸۰۳/۶۴	۲۰۲۹/۰۸	-	$\frac{\sum_{n=1}^9 \frac{f_n}{n}}{9} = ۲۲۵/۰۶$
re	۲۵۲/۳۶	۵۰۵/۸۸	۷۵۹/۹۲	۱۰۱۳/۰۰	۱۲۶۶/۹۲	۱۵۱۸/۴۰	۱۷۷۲/۰۸	۲۰۲۵/۰۰	۲۲۷۹/۱۲	۲۵۳۲/۷۶	$\frac{\sum_{n=1}^{10} \frac{f_n}{n}}{10} = ۲۵۳/۱۰$
mi	۲۸۴/۴۴	۵۶۸/۰۴	۸۵۴/۶۰	۱۱۳۷/۶۰	۱۴۲۱/۴۸	۱۷۰۶/۳۶	۱۹۹۱/۳۲	۲۲۷۶/۲۸	۲۵۶۴/۶۴	۲۸۴۶/۳۶	$\frac{\sum_{n=1}^{10} \frac{f_n}{n}}{10} = ۲۸۴/۴۹$
fa	۳۰۰/۲۰	۵۹۸/۸۰	۹۰۰/۳۲	۱۱۹۸/۳۶	۱۴۹۸/۵۲	۱۸۰۰/۸۰	۲۰۹۹/۶۴	۲۳۹۹/۵۲	۲۶۹۹/۲۴	۲۹۹۸/۶۴	$\frac{\sum_{n=1}^{10} \frac{f_n}{n}}{10} = ۲۹۹/۸۷$
sol	۳۳۷/۴۴	۶۷۴/۸۰	۱۰۱۳/۶۴	۱۳۵۰/۰۸	۱۶۹۰/۴۰	۲۰۲۷/۲۸	۲۳۶۵/۰۴	۲۷۰۳/۴۴	۳۰۴۳/۲۴	۳۳۷۹/۷۶	$\frac{\sum_{n=1}^{10} \frac{f_n}{n}}{10} = ۳۳۷/۷۲$
la	۳۷۸/۱۲	۷۶۰/۱۲	۱۱۳۹/۱۶	۱۵۱۹/۱۶	۱۸۹۵/۹۲	۲۲۷۶/۵۲	۲۶۵۷/۵۰	۳۰۳۴/۴۴	۳۴۱۲/۹۶	-	$\frac{\sum_{n=1}^9 \frac{f_n}{n}}{9} = ۳۷۹/۲۹$
si	۴۲۷/۳۲	۸۵۴/۵۲	۱۲۷۹/۸۶	۱۷۰۷/۴۸	۲۱۳۳/۹۶	۲۵۵۸/۷۶	۲۹۸۹/۲۴	۳۴۱۵/۴۴	۳۸۴۵/۸۰	۴۲۷۵/۲۰	$\frac{\sum_{n=1}^{10} \frac{f_n}{n}}{10} = ۴۲۷/۰۱$
do_2	۴۴۸/۳۶	۹۰۲/۰۸	۱۳۴۸/۳۶	۱۸۰۱/۱۲	۲۲۶۰/۹۲	۲۶۹۹/۲۴	۳۱۵۱/۹۲	۳۶۰۶/۹۲	-	-	$\frac{\sum_{n=1}^8 \frac{f_n}{n}}{8} = ۴۵۰/۲۸$

خودداری شده است.

از جدول ۲ نتیجه می‌گیریم که درجات اصلی گام موسیقی ایرانی به طور قابل ملاحظه‌ای با گام فیثاغورث مطابقت دارد. با توجه به درجه ملایمت نتها که هلمهولتز بیان کرده است نتهای sol و fa بیشترین ملایمت را دارند. همچنان که از جدول ۲ آشکار است در اندازه‌گیریهای ما یعنی نسبت دادن بسامدی برای ارتفاع نتها نسبت $\frac{sol}{do}$ تا سه رقم اعشار و نسبت $\frac{fa}{do}$ تا دو رقم اعشار با نسبتهای فیثاغورث و آریستوکسن مطابقت دارد. چون حساسیت گوشهای ورزیده برابر $\frac{1}{1000}$ و یا برابر با $\frac{1}{4}$ ساوار است و اختلاف $1/332$ با $1/333$ نیز $0/3$ ساوار است بنابراین اختلاف فاصله $1/332$ با $1/333$ قابل تشخیص نیست. از

مربوط به سختی سیم است [۱۰] و در ستون آخر، میانگین بسامدها را با روشی که قبلاً ذکر آن رفت محاسبه کرده‌ایم. در جدول ۲ نیز ستون دوم فاصله نتها را از یکدیگر طبق روش پیشنهادی ما نشان می‌دهد و در ستون سوم و چهارم این فواصل را با گام فیثاغورث و آریستوکسن [۸] مقایسه کرده‌ایم.

۳. نتایج

جدول ۲ به عنوان یک نمونه از نوع اندازه‌گیری ارتفاع و فواصل گام موسیقی ارائه شده است. اندازه‌گیریها برای اساتیدی چون میرزا حسینقلی، درویش خان و مرتضی نی داود هرکدام برای ۶ قطعه مختلف انجام شده و میانگین آنها معین گردیده است. اختلاف نتایج میانگین با جدول ۲ از حد حساسیت گوش کمتر بوده که به علت کمبود فضای کافی از آوردن آنها

جدول ۲. فاصله‌ تنها از یکدیگر و مقایسه این فواصل با گام فیثاغورث و آریستوکسن.

فاصله تنها از یکدیگر	در آزمایشهای انجام شده	در گام فیثاغورث	در گام آریستوکسن	اختلاف با گام فیثاغورث بر حسب ساوار σ	اختلاف با گام آریستوکسن بر حسب ساوار σ^*
re/do	$\frac{253/10}{225/0.6} = 1/125$	۱/۱۲۵	۱/۱۲۵	۰	۰
mi/do	$\frac{284/49}{225/0.6} = 1/264$	۱/۲۶۶	۱/۲۵۰	۰/۷	۴/۸
fa/do	$\frac{299/17}{225/0.6} = 1/332$	۱/۳۳۳	۱/۳۳۳	۰/۳	۰/۳
sol/do	$\frac{337/72}{225/0.6} = 1/500$	۱/۵۰۰	۱/۵۰۰	۰	۰
la/do	$\frac{379/29}{225/0.6} = 1/685$	۱/۶۸۷	۱/۶۶۶	۰/۵	۵
sol/do	$\frac{427/0.1}{225/0.6} = 1/897$	۱/۸۹۸	۱/۸۹۷	۰/۲	۵
do_2/do	$\frac{450/28}{225/0.6} = 2/000$	۲/۰۰۰	۲/۰۰۰	۰	۰

* ساوار "Savart" فیزیکدان فرانسوی است که واحد سنجش فاصله موسیقی به نام اوست. یک ساوار فاصله‌ای است که لگاریتمش $\frac{1}{1000}$ باشد و آن را با σ نشان می‌دهند.

۲۳ ساوار و ۵ ساوار است بیان نموده است. بنابراین برای حصول اطمینان از حفظ این تقسیمات در موسیقی سنتی ایران جا دارد که اندازه‌گیریهای مشابهی برای یافتن این تقسیمات انجام پذیرد.

نکته فوق می‌توان نتیجه گرفت بسامدی را که ما برای ارتفاع نسبت دادیم می‌تواند مورد تأیید باشد. همچنین فارابی تقسیمات بین پرده‌ای موسیقی ایرانی را با فواصلی تحت عنوان بقیه و فضل (لیما و کما) که برابر با

مراجع

1. E Leipp, *Acoustique Et Musique*, Masson & Cie(1971).
2. A H Benade, *Fundamental of musical acoustics*, Oxford press(1976).
3. J H E Cartwright, D L Gonzalez, O Piro, *Nonlinear dynamics for the perceived pitch of complex sounds*, *Physical review Letter*, **82** (1999) 5389.
4. H L F Von Helmholtz, *Die Lher von dem tonempfindungen als physiologische Grundlage fur die Theorie der Musik* (Branusschweing 1863).
5. J F Schouten, R J Ristma and B L Cardozo, *J. Acoust. Soc. Am.* **34** (1962) 1418.
6. J H E Cartwright, D L Gonzalez, O Piro, *A New nonlinear model for pitch perception*, *Statistical mechanics of biocomplexity*, **527** (1999) 205.
7. L E Kinsler, R. Frey, *Fundamental of acoustics*, 4th Ed, John Wiley & sons(2000).
8. مهدی برکشلی، گامها و دستگاههای موسیقی ایرانی، انتشارات اداره کل وزارت فرهنگ و هنر(۱۳۴۵).
9. B C J Moore, *An Introduction to the Psychology of Hearing*, 5th Ed, Academic Press (2003).
10. H Jarvelainen, T Verma, V Valimaki, *The effect of inharmonicity on pitch in string struments sound*, Helsinki university of technology (2000).