امین شهمیری

# درآمدی بر
# صوت‌شناسی در موسیقی

نشر نی

# فهرست مطالب


**پیشگفتار** ..... ۹

**فصل اول. یکاها** ..... ۱۳
۱.۱ کمیت چیست؟ ..... ۱۳
۲.۱ کمیت‌های اصلی ..... ۱۴
۳.۱ کمیت‌های فرعی ..... ۱۵

**فصل دوم. حرکت‌های هارمونیک** ..... ۱۹
۱.۲ حرکت هماهنگ ساده ..... ۱۹
۲.۲ موج ..... ۲۳
۳.۲ انواع موج ..... ۲۳
۴.۲ چشمهٔ موج ..... ۲۶
۵.۲ انتشار موج ..... ۲۶
۶.۲ ویژگی‌های موج ..... ۲۷
۷.۲ تداخل امواج ..... ۲۸
۸.۲ تشدید ..... ۲۹
۹.۲ معادلهٔ موج ..... ۳۰
۱۰.۲ امواج صوتی ..... ۳۱
۱۱.۲ منشأ صدا ..... ۳۱
۱۲.۲ سرعت صوت ..... ۳۲

**فصل سوم. صوت** ..... ۳۵
۱.۳ صدا ..... ۳۵

۲.۳ موسیقی ..... ۳۷
۳.۳ زبان ..... ۳۸
۴.۳ سیر تحول صوت‌شناسی ..... ۳۸
۵.۳ آکوستیک چیست؟ ..... ۴۰

**فصل چهارم. شنوایی** ..... ۴۳
۱.۴ فیزیولوژی گوش ..... ۴۳
۲.۴ نوار بحرانی ..... ۴۶
۳.۴ سازوکار شنوایی ..... ۴۹
۴.۴ محدودهٔ شنوایی ..... ۴۹
۵.۴ ویژگی‌های فیزیولوژیک صوت ..... ۵۰
۶.۴ تراز شدت و مقیاس دسی‌بل ..... ۵۵
۷.۴ اندازه‌گیری تراز فشار صوت ..... ۵۷
۸.۴ شدت صوت و انتشار در میدان آزاد ..... ۵۸
۹.۴ پدیدهٔ بلندی صدا ..... ۵۹
۱۰.۴ پدیدهٔ تشخیص جهت (پدیدهٔ تمرکزگرایی) ..... ۶۴
۱۱.۴ شنوایی مضاعف و شنیدن با هدفون ..... ۶۴
۱۲.۴ اثر تقدم (تأثیر اولویت صوتی) ..... ۶۵
۱۳.۴ صدای استریوفونیک و تصویر ذهنی صدا (تصاویر مجازی) ..... ۶۶
۱۴.۴ درک پیچ ..... ۶۹
۱۵.۴ اثر دوپلر ..... ۷۱

**فصل پنجم. آکوستیک** ..... ۷۳
۱.۵ شکست (انکسار) ..... ۷۳
۲.۵ پژواک (انعکاس) ..... ۷۴
۳.۵ پراش یا پخش (تفرق) ..... ۷۵
۴.۵ صدا و میدان‌های صوتی در فضای بسته ..... ۷۷
۵.۵ وضعیت آکوستیکی ..... ۷۹
۶.۵ اصوات مزاحم ..... ۸۰
۷.۵ نوفه و آثار زیان‌بار آن ..... ۸۱
۸.۵ محافظت از شنوایی ..... ۸۴
۹.۵ آکوستیک ساختمانی ..... ۸۶
۱۰.۵ آکوستیک اتاق موسیقی ..... ۸۷





**فصل ششم. گام‌ها** ..... ۹۱
۱.۶ تعریف نت ..... ۹۲
۲.۶ تعریف موسیقی ..... ۹۳
۳.۶ فاصلهٔ موسیقی ..... ۹۴
۴.۶ تعریف گام ..... ۹۹
۵.۶ انواع گام در یونان ..... ۱۰۲
۶.۶ انواع گام در موسیقی غربی ..... ۱۰۴
۷.۶ حدود اصوات موسیقی ..... ۱۲۰

**فصل هفتم. گام در موسیقی ایرانی** ..... ۱۲۳
۱.۷ یونان باستان و موسیقی ..... ۱۲۳
۲.۷ ایران و موسیقی ..... ۱۲۵

**فصل هشتم. تار مرتعش** ..... ۱۳۹
۱.۸ صداسنج (سنومتر) ..... ۱۳۹
۲.۸ هارمونیک‌ها ..... ۱۴۰
۳.۸ انواع موج ..... ۱۴۷
۴.۸ قوانین تارهای مرتعش ..... ۱۵۱
۵.۸ امواج طولی ..... ۱۵۵
۶.۸ ایجاد صداهای مرکب در تارهای مرتعش ..... ۱۵۶
۷.۸ رده‌بندی سازها ..... ۱۵۸

**فصل نهم. سازهای زهی** ..... ۱۶۱
۱.۹ تاریخچهٔ سازهای زهی ..... ۱۶۱
۲.۹ سازهای قدیمی ..... ۱۶۵
۳.۹ سازهای امروزی ..... ۱۶۹

**فصل دهم. لوله‌های صوتی و سازهای بادی** ..... ۱۹۷
۱.۱۰ تعریف لوله‌های صوتی ..... ۱۹۷
۲.۱۰ چگونه هوا در لوله‌های صوتی مرتعش می‌شود؟ ..... ۱۹۸
۳.۱۰ بررسی حالت ارتعاش در لوله‌های صوتی ..... ۲۰۱
۴.۱۰ لوله‌های صوتی باز ..... ۲۰۳
۵.۱۰ لوله‌های صوتی بسته ..... ۲۰۵
۶.۱۰ کاربرد لوله‌های صوتی ..... ۲۰۷
۷.۱۰ سازهای بادی ..... ۲۰۷

۸.۱۰ سازهای زبانه‌دار یا قمیشی ..... ۲۰۸
۹.۱۰ فلوت ..... ۲۰۹
۱۰.۱۰ فلوت کوچک (پیکولو) ..... ۲۱۰
۱۱.۱۰ کلارینت (قره‌نی) ..... ۲۱۱
۱۲.۱۰ اوبوا (هوبوا) ..... ۲۱۲
۱۳.۱۰ باسون ..... ۲۱۳
۱۴.۱۰ نی هفت‌بند (نی) ..... ۲۱۳
۱۵.۱۰ بالابان (نرمه‌نای) ..... ۲۱۴
۱۶.۱۰ دوزَله (نی‌جفته) ..... ۲۱۵
۱۷.۱۰ نی‌انبان ..... ۲۱۶
۱۸.۱۰ سُرنا ..... ۲۱۷
۱۹.۱۰ کَرنا ..... ۲۱۷
۲۰.۱۰ بوق، برغو، نفیر ..... ۲۱۸
۲۱.۱۰ ارغنون ..... ۲۱۹
۲۲.۱۰ پن فلوت ..... ۲۱۹
۲۳.۱۰ اُرگ ..... ۲۲۰
۲۴.۱۰ شیپور (کُر) ..... ۲۲۱
۲۵.۱۰ ترومپت ..... ۲۲۱
۲۶.۱۰ ترومبون ..... ۲۲۲
۲۷.۱۰ توبا ..... ۲۲۳
۲۸.۱۰ ساکسوفون ..... ۲۲۴
۲۹.۱۰ ساز دهنی ..... ۲۲۴
۳۰.۱۰ آکاردئون ..... ۲۲۵

**فصل یازدهم. سازهای کوبه‌ای (ضربی)** ..... ۲۲۷
۱.۱۱ تعریف سازهای کوبه‌ای ..... ۲۲۷
۲.۱۱ سازهای کوبه‌ای پوستی ..... ۲۲۸
۳.۱۱ سازهای کوبه‌ای فلزی ..... ۲۳۶
۴.۱۱ سازهای کوبه‌ای ملودیک ..... ۲۴۳

**فصل دوازدهم. موسیقی مدرن** ..... ۲۴۷
۱.۱۲ سازهای الکترونیکی و نقش آن‌ها در ابداع موسیقی مدرن ..... ۲۴۸
۲.۱۲ موسیقی الکترونیکی ..... ۲۴۹
۳.۱۲ موسیقی تجسمی ..... ۲۵۶
۴.۱۲ موسیقی تصادفی یا پست‌مدرن ..... ۲۵۷
۵.۱۲ موسیقی میکروتنی ..... ۲۵۸



**فصل سیزدهم. اثر کیفیت صدا بر انسان** ..... ۲۶۱
۱.۱۳ تلاش برای صحبت در دنیایی ساکت ..... ۲۶۱
۲.۱۳ بررسی عمق ناشنوایی ..... ۲۶۱
۳.۱۳ نخستین گام‌ها برای حرف‌زدن ..... ۲۶۲
۴.۱۳ حداکثر استفاده از حداقل شنوایی ..... ۲۶۲
۵.۱۳ تسلط بر اصوات کلام ..... ۲۶۳
۶.۱۳ ایجاد انباری از واژه‌ها ..... ۲۶۳
۷.۱۳ درمان ماهیچه‌های سردرگم ..... ۲۶۴
۸.۱۳ آماده‌شدن برای دنیای واقعی ..... ۲۶۴
۹.۱۳ صداهای ناخواسته ..... ۲۶۴
۱۰.۱۳ خطر ناشنوایی برای سازندگان دیگ بخار ..... ۲۶۶
۱۱.۱۳ پرداخت هزینهٔ سروصدای صنعتی ..... ۲۶۷
۱۲.۱۳ از ارابه تا سطل آشغال ..... ۲۶۹
۱۳.۱۳ خانه‌های پرسروصدا ..... ۲۷۰
۱۴.۱۳ دفاتر ساکت ..... ۲۷۱
۱۵.۱۳ مبارزه با صدا به کمک «سروصدای سفید» ..... ۲۷۲
۱۶.۱۳ مشکلات عصر جت ..... ۲۷۳
۱۷.۱۳ شش ماه پس از شکستن دیوار صوتی ..... ۲۷۵

**منابع** ..... ۲۷۷

# فصل اول

# یکاها

برای فهم علم صوت‌شناسی، دانشجوی رشتهٔ موسیقی باید درکی مناسب و دریافتی سریع از مباحث ریاضی و فیزیک پایه داشته باشد. مطالعهٔ مفاهیم اساسی ریاضی ـ فیزیک مفید، اما غیرضروری است. آنچه لازم است آشنایی با کمیت‌هایی مانند طول، جرم، زمان و مفاهیم مرتبط با آن‌ها مانند سرعت، شتاب، توان، و انرژی است. ما با آگاهی از مفاهیم پایهٔ فیزیک می‌توانیم مدل‌ها، سیستم‌های تشدیدشونده، و چگونگی انتشار صوت را در محیط‌های مختلف توجیه کنیم.

## ۱.۱ کمیت چیست؟

برحسب تعریف، به هر مفهوم قابل افزایش یا کاهش، کمیت گفته می‌شود. کمیت‌ها به‌طور کلی به دو دستهٔ *حقیقی* و *غیرحقیقی* تقسیم می‌شوند. کمیت‌های حقیقی اندازه‌پذیر هستند. به کمیتی اندازه‌پذیر گفته می‌شود که بتوانیم تساوی و مجموع هر دو نمونهٔ آن را تعریف کنیم؛ به این ترتیب همواره می‌توانیم هر دو نمونهٔ آن را با هم مقایسه و نسبت آن‌ها را تعیین کنیم. مثلاً طول، سطح، جرم، و حجم کمیت‌هایی حقیقی هستند. اما کمیت‌های غیرحقیقی اندازه‌ناپذیر و تنها با «نشانه‌گذاری» قراردادی مشخص می‌شوند، مانند عقل، هوش، دما، و چگالی. در علم فیزیک، کمیت‌ها به دو دستهٔ *اصلی* و *فرعی* تقسیم می‌شوند. تعداد کمیت‌های اصلی بسیار محدود است و برحسب نیاز و میزان پیشرفت علم در کشورهای مترقی، به‌طور موردی انتخاب شده‌اند. اما تعداد کمیت‌های فرعی بسیار زیاد است و با استفاده از فرمول‌ها و روابط فیزیکی برحسب کمیت‌های اصلی قابل محاسبه‌اند. به روابطی

که کمیت‌های فرعی را برحسب کمیت‌های اصلی مشخص می‌کنند، *معادلهٔ ابعادی* یا *دیمانسیون* گفته می‌شود. مثلاً اگر طول، جرم، و زمان کمیت‌های اصلی باشند؛ آنگاه مساحت، حجم، سرعت، شتاب، نیرو، کار، و انرژی کمیت‌های فرعی خواهند بود.

در ادامه به نمونه‌هایی از کمیت‌های اصلی و فرعی اشاره می‌کنیم.

## ۲.۱ کمیت‌های اصلی

*طول*، مفهومی پایه و کمیتی فیزیکی از بُعد مساحت است. بشر روزانه با ویژگی‌هایی مختلف چون طول، جرم، زمان، و وزن سروکار دارد. بعضی از این ویژگی‌ها به‌راحتی قابل اندازه‌گیری هستند. در فیزیک ما فقط ویژگی‌های قابل‌اندازه‌گیری اجسام را مطالعه می‌کنیم و مفاهیم اساسی فیزیک نیز برمبنای همین اندازه‌گیری‌ها تعریف می‌شوند. متر با علامت اختصاری m، واحد طول، و مقدار آن ۱۶۵۷۶۳٫۷۳ برابر طول‌موج تابش الکترومغناطیس نور در خلأ است. در اواخر مهرماه ۱۳۶۲ در گردهمایی عمومی اوزان و مقادیر (CCPM) در پاریس، ۱ متر را برابر با مسافتی تعریف کردند که نور در ۱٫۲۹۹۷۹۲۴۵۸ ثانیه در خلأ می‌پیماید.

جرم، مقدار مادهٔ موجود در جسم است. جرم یک جسم به مقاومت آن در برابر حرکت بستگی دارد. *ماند یا لختی*، خاصیتی از ماده است که در برابر حرکت ایجاد مقاومت می‌کند. جرم معیاری کمّی از ماند (یا لختی) است. جرم همچنین معیاری از قابلیت جسم در ربودن اجسام دیگر به‌وسیلهٔ گرانش است. کیلوگرم با علام اختصاری Kg، یکای جرم است. ۱کیلوگرم، جرم قطعه‌ای از آلیاژ پلاتین ـ آیریدیم است که در موزه سِوْر در پاریس نگهداری می‌شود. برای اندازه‌گیری جرم یک جسم، آن را با جرم استاندارد مقایسه می‌کنیم.

*زمان*، با دانستن وقت می‌توانیم ترتیب رویدادها را مشخص کنیم و دریابیم هر رویداد چه وقت اتفاق افتاده و چه مدت طول کشیده است. زمان به عوامل طبیعی وابسته است. تغییراتی که در فاصله‌های زمانی یکسان تکرار می‌شوند، تغییرات پریودیک یا *متناوب* نام دارند. ثانیه با علامت اختصاری S، یکای زمان است. اتحادیهٔ بین‌المللی اخترشناسی آن را برابر ۱٫۳۱۵۵۶۹۲۵۹۷۵ سال شمسی تعریف کرده است. همچنین ثانیه را می‌توانیم به‌طور میانگین ۱٫۸۶۴۰۰ روز شمسی تعریف کنیم، و آن میانگینِ فواصل زمانی دو عبور پیاپی نقطه‌ای روی زمین از برابر خورشید در طول یک سال است.



## ۳.۱ کمیت‌های فرعی

*سرعت لحظه‌ایِ* هر ذرهٔ مادی عبارت است از سرعت آن ذره در آن لحظه از زمان. سرعت *میانگین* در فاصلهٔ زمانی معین، برابر است با میزان جابه‌جایی ذره تقسیم بر همین فاصلهٔ زمانی. گاهی به جای آن، مفهوم *تندی* را، که به صورت نسبت مسافت بر زمان تعریف می‌شود، به کار می‌بریم. تندی همواره مثبت و مقدار آن با بزرگی سرعت برابر است.

$$\text{تندی} = \frac{\text{مسافت}}{\text{زمان}} \qquad v =$$

یکای سرعت، متر بر ثانیه است که به صورت $ms^{-1}$ بیان می‌شود، و آن سرعت جسمی است که با روندی ثابت در هر ثانیه یک متر جابه‌جا شود. دیگر یکاهای سرعت، کیلومتر بر ساعت، مایل بر ساعت، فوت بر دقیقه، و مانند آن‌ها هستند.

نسبت تغییرات سرعت هر ذره به تغییرات زمان، *شتاب* آن ذره گفته می‌شود. *شتاب لحظه‌ای* یک نقطهٔ مادی برابر است با حد *شتاب میانگین* وقتی که تغییرات زمان به سمت صفر میل کند. معمولاً در جریان حرکت، شتاب تغییر می‌کند. اگر در حرکت مستقیم‌الخط شتاب ثابت بماند، آن حرکت را حرکت *با شتاب ثابت* می‌گوییم. هرگاه قدرمطلق سرعت با گذشت زمان افزایش یابد، حرکت را *تندشونده* و هرگاه کاهش یابد، حرکت را *کندشونده* می‌نامیم.

واحد شتاب، متر بر مجذور ثانیه است و با علامت اختصاری $ms^{-2}$ بیان می‌شود. و آن شتاب جسمی است که با روندی ثابت در هر ثانیه یک متر بر ثانیه بر سرعت آن افزوده شود.

$$\text{شتاب} = \frac{\text{تغییرات سرعت}}{\text{تغییرات زمان}} \qquad a =$$

*نیرو*، برای تعریف نیرو می‌توانیم همان برداشت حسی و شهودی را که ناشی از تجربیات روزانه است بیان کنیم. چنانچه، حالت سکون یا حالت حرکت مستقیم‌الخط جسمی تغییر کند، می‌گوییم به آن نیرو وارد شده است و آن را با علامت اختصاری $F$ نشان می‌دهیم. به بیانی دیگر، نیرو عاملی است که باعث حرکت، توقف، و تغییر شکل جسم می‌شود.

مفهوم نیرو به تأثیر حرکت ذره‌ای مادی وابسته است، نیرو در جسم شتاب ایجاد می‌کند.

$$F = \text{جرم} \times \text{شتاب}$$