

## الدراسة الفيزيائية للصوت

- الصوت ظاهرة فيزيائية معروفة، وهو عبارة عن سلسلة من الموجات والاهتزازات التي تنتقل إلى الأذن عبر الأوساط المادية، وهي المواد الصلبة، والغازية، والسائلة، إلا أنه لا ينتقل في الفراغ، بل ينتقل عن طريق اهتزاز المادة حيث ينشأ الصوت جراء اهتزاز الجزيئات، ويتجمّع في الأذن فنسمعه.

### 1- مفهوم الصوت:

**الصوت** هو الأثر السمعي الذي تحدثه ظاهره فيزيائية يحدثها اهتزاز جسم ما، يجعل الهواء المحيط به يهتز، وتنتشر الاهتزازات في كل الاتجاهات على شكل موجات مبتعدة عن المصدر، وعند بلوغها آذاننا تنتقل إلى الدماغ الذي يترجمها إلى أصوات. هكذا يحتاج الصوت إلى ثلاثة عناصر: **مصدر مهتز ووسط ناقل ومستقبل.**

فلو أخذنا طرف لوح خشبي أو شريط فولاذي رقيق، وثبتنا ذلك اللوح في مكان ثابت من جهة واحدة، ثم أطلقنا الطرف الثاني في حرية، ثم ضربنا على الطرف الطليق فسرى ذلك الطرف يهتز بسرعة، ويحدث ذلك الاهتزاز خفيفا، أي يحدث صوتا ما. وهذه التجربة تماثل كل التجارب الأخرى كالضرب على وتر الكمان، أو اهتزاز الجلد الرقيق للدف أو الطبل أو غيره.

هذه التجربة تؤكد أن الأصوات على اختلافها وأنواعها، ودرجتها وشدها تتولد عن اهتزاز المادة. إن اهتزاز اللوح أو الشريط الفولاذي الرقيق يستلزم إنجاز أصوات تتوقف على سعة اهتزاز اللوح، وكلما كانت طاقة اللوح كبيرة كلما كانت سعة اهتزازة كبيرة، وسعة الموجة الطويلة التي يحدثها كبيرة أيضا.

ومما لا شك فيه أن الهواء هو الوسط الذي من خلاله تنتقل الهزات على شكل موجات من مصدر الصوت حتى تصل إلى الأذان البشرية. فلا بد من توفر أوساط مادية لكي تنتقل تلك الهزات على شكل موجات إلى الأذن البشرية، ولا يمكن أن تنتقل تلك الهزات أو الموجات في فراغ.

## 2- الحاجة إلى علم الأصوات الفيزيائي:

أتاح علم الأصوات الفيزيائي فرصة لمعالجة التلوث الضجيجي، وإزالة الآثار النفسية، وقد نشأ علم الأصوات المعماري الذي يهتم بتوفير الهدوء داخل الغرف، وعلم الأصوات البيئي الذي يهتم بالتحكم في التلوث الضجيجي البيئي؛ نحو: ضجيج السيارات والطائرات، كما ساعد تطور علم الأصوات على تصميم المعدات والهواتف وغيرها من أجهزة الاتصالات السمعية بالغة الدقة.

## 3- خصائص الصوت:

- **الموجة الصوتية:** هي مجموعة من الذبذبات الصوتية المتعاقبة التي تنتج إحداها عن الأخرى؛ فحينما يسبب مصدر الصوت تحركات لأجزاء الهواء المجاورة له؛ تضغط هذه الأجزاء على الذرات الهوائية المجاورة لها، وتلك بدورها تضغط على الذرات المجاورة لها هي الأخرى... وهكذا. مجموع هذه الذبذبات كلها هو الموجة الصوتية.
- **التردد:** كل جسم متذبذب له تردده الخاص، الذي تتحكم فيه مجموعة من العوامل المتعلقة بالجسم المتذبذب، مثل: الوزن، والطول. فبالنسبة للأوتار؛ تلك العوامل هي نسبة الشد، وبالنسبة للتجاويف؛ الشكل، والامتداد..

- سعة الذبذبة: هي البعد بين نقطة الاستراحة وأبعد نقطة يصل إليها الجسم المتحرك.  
وهذه السعة هي المسؤولة عن التوتر؛ فكلما زاد الاتساع زاد التوتر. يطلق على التوتر  
المُدْرَك: العلو.

### التفريق بين صوت وآخر :

هناك عوامل متعددة يمكن عن طريقها إنتاج أصوات يختلف الواحد منها عن الآخر .  
وحيث تسمع أى صوتين يمكن أن تقارنهما من هذه الجوانب المختلفة ، مثل شوكة  
رنانة وأرغن ، فهما يصدران صوتين مختلفين نتيجة عامل أو أكثر من تلك العوامل  
وهي :

(أ) العلو loudness ، فإذا قرعت شوكتين رنانتين متماثلتين ، واحدة برفق والأخرى  
بقوة، فإن الفرق بين الصوتين الناتجين سيكون أن أحدهما خفيض ومجرد مسموع،  
أما الآخر فعال ويمكن سماعه على مسافة<sup>(١)</sup> . وذلك لأن الحركة القوية تؤدي إلى  
اضطراب أكبر فى الهواء، وبالعكس. وبالنسبة للسامع يسبب اضطراب الهواء  
القوى حركة أكبر فى طبلة الأذن ويترجم ذلك بارتفاع الصوت<sup>(٢)</sup> . فالطاقة الأكبر  
تنتج سعة ذبذبة أكبر وصوتا أعلى<sup>(٣)</sup> .

(ب) درجة الصوت pitch ، فإذا ضغطت على إصبعى بيانو بصورة واحدة أدت  
إلى أن يكون العلو واحدا ، فإنك ما تزال تجد فرقا بين الصوتين . الفرق الرئيسى  
بين الصوتين نتج عن أن أحد الصوتين أعلي في الدرجة من الآخر<sup>(٤)</sup> . وتكون  
درجة الصوت أعلى كلما كانت الذبذبات أسرع<sup>(٥)</sup> وعددها فى الثانية أكثر.

ويوصف الصوت حينئذ بأنه دقيق . أما حين يقل عدد الذبذبات فإن الناتج يكون صوتا سميكاً <sup>(١)</sup> . فالفرق بين شوكة رنانة ذات درجة صوتية عالية ، وأخرى ذات درجة صوتية منخفضة أن الأولى تعمل عددا أكبر من الذبذبات فى الثانية <sup>(٢)</sup> .

(ج) نوع الصوت timbre ، وهو فرق يظهر بين نغمتين موسيقيتين ربما اتفقتا فى درجة الصوت pitch وفى العلو loudness ولكنهما أنتجتا بألتن مختلفتين مثل بيانو وكمان <sup>(٣)</sup> .

وتفسير ذلك أن كلتا الألتين تصدر مجموعة من النغمات واحدة منها (وهى الأساسية fundamental) هى المسيطرة ، والأخرى (التوافقيات harmonics) تكون فى وضع انسجام معها .

وحيث إن الجسم الرنان resonator يقوى بعضا من هذه التوافقيات أكثر من الأخرى فإن النغمة تتلقى خصائص تسمح للسامع أن يميز بين صوت وآخر ، أو آلة وأخرى <sup>(٤)</sup> .

وبهذا يظهر أن نوع الصوت هو الأثر السمعى الناتج عن عدد الموجات البسيطة التى تكون الموجة المركبة التى تحمل الصوت للأذن ، وتردد كل منها ، واتساعها <sup>(٥)</sup> .

## الرنين

كل مصادر الصوت أجسام متحركة . ولكن بعض مصادر الصوت مثل الشوكة الرنانة والأوتار لها ميل طبيعي نحو التذبذب . فبمجرد قرعها أو شدها تذهب فى التذبذب بمعدل معين . وبعضها الآخر مثل الطبول وأسطح المناضد لها ميل أقل نحو التذبذب . إنها تسبب ضجيجا noise حين تفرع ، ولكن تذبذبها يتوقف بسرعة<sup>(١)</sup> .

ومن الممكن أن ينقل جسم متذبذب الذبذبة إلى جسم آخر . وهذا يحدث حين توضع قاعدة الشوكة الرنانة المتذبذبة على منضدة ، كما يحدث مع العود مثلا حين يسبب تذبذب الوتر فى جذب جسم العود نحو التذبذب.

وظاهرة جعل جسم ما يتحرك عن طريق ذبذبات جسم آخر تعرف باسم الرنين resonance والجسم الذى يتحرك (المتأثر) يقال إنه يرن resonate تبعا للجسم الآخر<sup>(٢)</sup> . والوحدة المتذبذبة (شوكة رنانة - وتر - تجويف) التى تقوم بتضخيم صوت موجود بالفعل تسمى resonator ، أو جسم رنان، أو مرنان ، أو مضخم للصوت<sup>(٣)</sup> .

## الحزم الصوتية :

الترددات أو مجموعات الترددات groups of frequencies التى تشكل نوع الصوت timbre وتميزه عن الأصوات الأخرى ذات الأنواع المختلفة تسمى حزما صوتية formants<sup>(٤)</sup> .

وكل أصوات العلة vowel sounds تملك نغمة أساسية fundamental tone واثنتين على الأقل من الحزم (تسمى الحزمة كذلك frequency band) . وتظهر الحزم فى الرسم الطيفى spectrogram كشرائط سوداء أفقية

## تصنيف مادة الأصوات :

من الممكن أن نقسم المادة الصوتية للغة إلى :

١- أصوات موسيقية Musical sounds ،

وهي تلك التي تحتوى على ذبذبات منتظمة Periodic vibrations .

٢- وأصوات ضوضائية noises أو غير موسيقية ، وهي تلك التي لا تملك ذبذبة منتظمة .

وهو تقسيم يتطابق تقريبا مع التقسيم التقليدى للأصوات إلى علل (أصوات موسيقية - رنانة) ، وسواكن (غير مصوتة) .

ومع هذا يجب ملاحظة ما يأتى :

١- أن العلل نفسها (احتكاما إلى الرسوم المتحصل عليها عن طريق جهاز الاسبيكتروجراف) غالبا ما تشتمل على ضوضاء noise ، ولكنها ضوضاء خلو من الأهمية اللغوية .

٢- أن بعض الأصوات التي تصنف تقليديا ضمن السواكن لها تركيب أكوستيكي يشبه ذلك الموجود فى العلل . هذه السواكن هي : اللام والنون والميم (الجانبية والأنفية) .

٣- أن الأصوات الساكنة قد تكون :

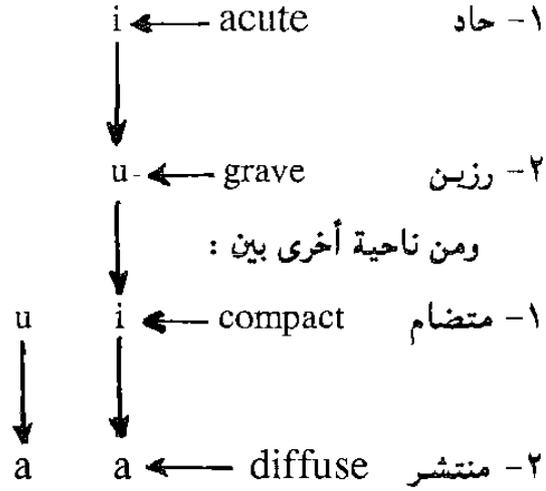
(أ) أصواتا ضوضائية خالصة (دون وجود ذبذبة منتظمة) ، وهي تلك السواكن المهموسة (مثل التاء والشين والسين) .

(ب) أصواتا ضوضائية مقترنة بنغمة حنجرية ، وهي المسماة بالسواكن المجهورة (الباء والزاي ..) (١) .

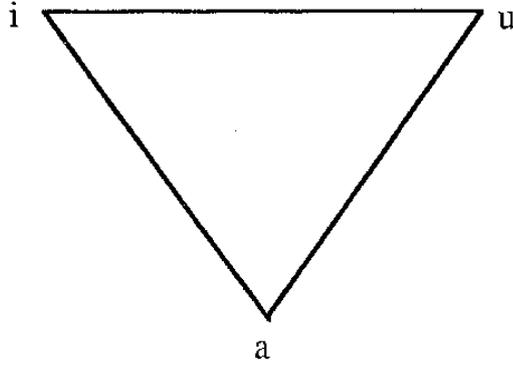
## التصنيف الأكوستيكي للعلل :

من الممكن تصنيف العلل إلى نماذج أكوستيكية . هذه النماذج في أساسها تتشابه في كل اللغات ، ولكن كل لغة تستعمل عددا محدودا من إمكانيات العلل الممكن إنتاجها عن طريق جهاز النطق .

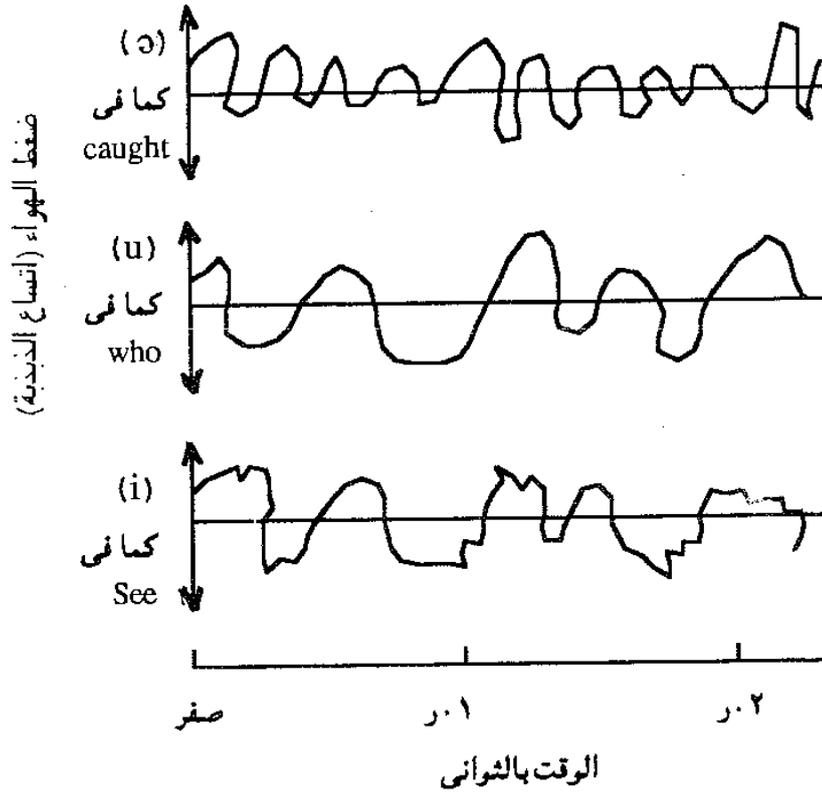
كل أنظمة العلل في اللغات مبنية على تضاد مزدوج ، من ناحية ، بين :



ويمكن تمثيله بالمثلث الآتي :



والرسم الآتى يبين أثر اختلاف شكل حجرة الرنين فى تغيير أشكال الموجات الناتجة أثناء نطق العلل الثلاث : (u) ، (o) ، (i) ، مع نطقها جميعا بدرجة واحدة<sup>(٣)</sup>. إن الفروق بينها تنتج عن اختلاف النوعية . فهى تسمع كأصوات مختلفة لأن كلامها له شكل موجة مختلف<sup>(٤)</sup> :



### التصنيف الأكوستيكي للسواكن :

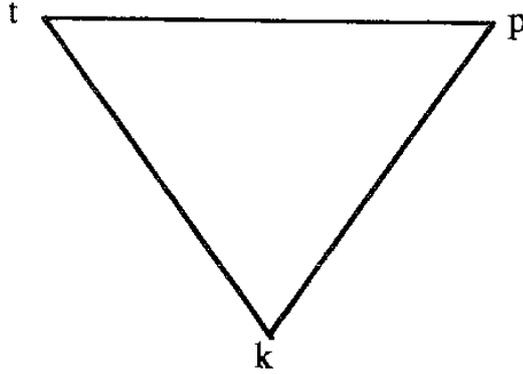
يمكن تصنيف السواكن بعدة اعتبارات :

- ١- فالساكن المصحوب بترددات عالية مسيطرة يتصف بالحدة sharp ، فى حين أن ذلك المصحوب بترددات منخفضة يتصف بالرزانة gravity<sup>(١)</sup> . فضجة الانفجار الموجودة فى التاء (والدال) تضاد تلك الموجودة فى الباء المهموسة (والباء) لان التاء والدال أكثر حدة .

(التاء تضاد الباء المهموسة ، والذال تضاد الباء ، كما أن الكسرة (i) تضاد الضمة (u) .

والكاف تعد صوتا متوسطا (حياديا) فى هذا التضاد الذى يعد من الناحية الأكوستيكية تضادا بين طيف مع سيطرة الترددات العالية ، وطيف مع سيطرة الترددات المنخفضة .

٢- والأصوات ذات الطيف المنتشر diffuse تضاد الأصوات ذات الطيف المتضام compact . وعلى هذا تتضاد كل من التاء والباء المهموسة مع الكاف لأن طيف النوع الأول منتشر ، وطيف النوع الثانى متضام . وكذلك تضاد الدال والباء للجيم (القاهرة) . ويمكن تمثيل ذلك بالشكل الآتى<sup>(١)</sup> :



الشكل رقم (١٢)

٣- الأصوات المنتجة عن طريق حصر تيار الهواء القادم من الرئتين يصحبها احتكاك friction ، والمنتجة عن طريق وقف الهواء ثم تسريحه فجائى يصحبها انفجار explosion .

وينتج الاحتكاك إذا شوشنا على هواء التنفس المتحرك عن طريق تغيير شكل وحجم المر الذي يجب أن يخترقه الهواء . فكلما كان المر أضيق كانت سيطرة الترددات العالية أكبر ، وكان الصوت المنتج أكثر حدة . فالضجة المميزة لصوت السين تحتوى على أعلى الترددات كلها (تصل من ٨٠٠٠ إلى ٩٠٠٠ دورة فى الثانية) ، فى حين أن تلك المصاحبة لصوت الشين مثلا تحوى قدرا أقل (من ٦٠٠٠ إلى ٧٠٠٠ دورة فى الثانية) (١) .