الصوت في مؤلفات علماء العصور الإسلامية

صباح السيد سليمان يوسف

قسم العمارة، كلية الهندسة، جامعة عين شمس، جمهورية مصر العربية

Sabah_yousef@eng.asu.edu.eg

المستخلص. يتناول هذا البحث قراءة تحليلية لمفاهيم علم الصوت من خلال ما كُتب في مؤلفات علماء العصور الإسلامية في الفترة من القرن العاشر إلى القرن الخامس عشر الميلادي، بالإستناد للمفاهيم المختلفة المعروفة في هذا الوقت والمتعلقة بهذا المجال؛ لتكوين صورة تتيح الإجابة عن التساؤل المطروح: هل توفر لمعماري العصور الإسلامية قاعدة معلوماتية في علم الصوت في تلك الفترة؟ وما هي تلك القاعدة المتاحة؟ وقد أوضحت الدراسة وجود مبادئ ومفاهيم أساسية عن علم الصوت في العصور الإسلامية - والذي قام علماءه بوضع الكثير من المفاهيم المستخدمة الآن، إذا أُستثنت الحسابات والمعادلات القائمة على استخدام الأجهزة الحديثة في الصوتيات- إلى جانب التأكد من تناول بعض المعماريين جانباً منها في قراءاتهم ودراساتهم. وذلك من خلال تناول بعض الدراسات للصوتيات المعمارية في العمارة الإسلامية، تليها دراسة نقاط أساسية كالتالي: الخلفية التاريخية، ومصادر علم الصوت، والصوت، وخصائص السمع في الأذن البشرية، وخصائص المصدر الصوتي، وانعكاس الصوت، وقوانين حركة الموجات الصوتية، وأجهزة الصوتية.

كلمات مفتاحية: علوم الحضارة الإسلامية، علم الصوت، الموجة الصوتية، الانعكاس.

1- المقدمة

وغيرها؛ مدى التأثير الإيجابي لتلك العناصر على البيئة الصوتية، وهو ما يوحى إلى اهتمام المعماريين في تلك الفترة بتحسين الصوتيات داخل فراغات المباني، خاصة الدينية منها.

1-1 بعض الدراسات للصوتيات في العمارة الإسلامية

وبإلقاء الضوء على بعض الكتابات والدراسات السابقة وُجد أن كل من وسيم اورفلي و سينتاجي

إن الدراسات التي تناولت الصوتيات المعمارية في العمارة الإسلامية، سواء كانت: وصفية أو تحليلية وقياسية قليلة جداً؛ إذا ما قورنت بمثيلاتها في العمارة الأوروبية التي أنشئت في ذات الفترة. ومع ذلك فقد لوحظ من خلال تلك الدراسات القليلة، والتي تناولت بعض عناصر من مباني العمارة الإسلامية - خاصة المساجد - مثل: المحراب، والمنبر، والقبة

تلك الأنابيب استنادًا لمفهوم انعكاس الصوت داخل الأسطح الأسطوانية المجوفة.

- استخدام تجاويف فخارية في قباب المساجد في تركيا، كما في مسجد السلطان أحمد (1609-1616م)، والسليمانية (1558م)، وشاهزاد محمد (1544-1548م)، وغيرها (شكل 2)؛ والتي وصل عددها في مسجد شاهزاد إلى 144 تجويفًا، وقد أُرْجِع استخدامها لامتصاص بعض الترددات غير المرغوبة التي تسبب صدا للصوت واضح في المساجد، نتيجة حجم القباب الضخمة، كما أن تلك التجاويف تقوم بتوزيع الصوت من القبة مرة أخرى بفترة وجيزة من صدوره، مما يضيفي ترخيم للصوت وإعطاء جو من الخشوع في فراغ المسجد. وخاصة بوجود دكة المبلغ أسفلها مباشرةً (شكل 3).

- وجود عدد من الأنابيب الفخارية في حوائط المحاريب بالمساجد.

- جيزا فيهرفري (Geza Fehervari)^[4]: ذكر وجود الأواني الفخارية بالحنايا الركنية في مسجد "Bey Malkoc"، وأرجع وجودها لتحسين الصوتيات به.

- أحمد الخطيب^[5] (Ahmed el-Khateeb) توصل بالقياسات إلى قدرة المصلين -800 مصلي- بالإيوان الرئيس في جامع السلطان حسن، على سمع وفهم الإمام بوضوح في جميع أوضاع الصلاة، وهو ما أرجعه للإمام المعمارين في ذلك الوقت بمفاهيم الصوتيات المعمارية.

يوتامي (Wasim Orfali and Sentagi S. Utami)^[1,2] تناول بالبحث:

المحراب: حيث أكدوا على أهمية وجوده في المسجد، لما يقوم به من عكس صوت الإمام - المتجه لحائط القبلة-، تجاه المصلين خلفه.

المنبر: ذكرنا أنه يقوم بعمل أقصى تغطية للصوت في فراغ الصلاة بالمسجد شكل 1.

شكل 1. وضعي الإمام والمصلين في الخطبة والصلاة^[1].

- ميتبيل كيللي (Mutbul Kayili)^[3]:

- أكتشفت أنابيب صوتية في حوائط مستشفى

السلطان (The Gevher Nesibe Sultan Darusshifa) (A. C. 1205) in Kayseri، حيث كانت تُستخدم لنقل الموسيقى لغرف علاج المرضى، ويُرجع عمل

شكل 3. التجاويف في قبة مسجد السلিমانيّة [3].

شكل 2. قطاع في قبة به تجاويف فخارية [3].

شكل 5. مسقط أفقي لمسجد العادليّة [7].

شكل 4. مسجد أصفهان.

بطريقة دقيقة؛ تضمن توزيع الصوت بانتظام على جميع الأرجاء" شكلا (4 و5).

ويلاحظ مما سبق من الدراسات المختلفة أن المماريين في العصور الإسلامية - خاصة فترة الدولة العثمانية - راعوا الصوتيات المعمارية باستخدام بعض العناصر لتحسين البيئة الصوتية داخل المباني خاصة المساجد، وهو ما يثير الدهشة والتساؤل؛ لعدم وصول أي معلومات تفيد معرفتهم بعلم الصوتيات المعمارية في ذلك الوقت، إلا أنه لا ينفي إلمامهم ببعض المفاهيم لهذا العلم، وهو ما

● أحمد فؤاد الباشا^[6] : ذكر أن التقنيين المسلمين استخدموا خاصية تركيز الصوت (Focusing of sound) في المباني المعمارية؛ وخاصة المساجد الجامعة الكبيرة؛ لنقل وتقوية صوت الخطيب والإمام في أيام الجمعة والأعياد؛ مثال ذلك: مسجد أصفهان القديم (1072م)، ومسجد العادلية في حلب (1555م)، وبعض مساجد بغداد القديمة قائلاً:

"كان يُصمَّمُ سقف المسجد وجدرانه على شكل سطوح مُفَعَّرَةٍ، موزَّعة في زوايا المسجد وأركانها

العلمي علوم عدة: كالطب، والفلك، والجغرافيا، والجيولوجيا، والفيزياء، وغيرها.

2-1 مصادر علم الصوت

من خلال القراءات المتعددة في بعض مخطوطات وكتب تلك الفترة، وجد ارتباط علم الصوت - والذي لم يعرف بذاك الاسم - بعلوم مختلفة في ذاك الوقت، مثل: علم الهندسة، وعلم حدوث الحرف، وعلم الموسيقى (وذلك لأهمية هذا العلم وتطوره في ذاك العصر؛ بالإضافة لارتباطه المباشر بالعلوم السمعية).

كما وُجِدَ - من خلال الدراسة - العديد من العلماء الأوائل الذين تناولوا في مؤلفاتهم بعض مفاهيم علم الصوت، مثل:

- **إخوان الصفا** - جماعة من فلاسفة المسلمين العرب في القرن العاشر الميلادي - مؤلفو "رسائل إخوان الصفا وخلان الوفا".

- **الفارابي** (874-950م): مؤلف "الموسيقى الكبير" والذي تناول دراسة الأوتار وترددها رياضياً والأزمنة الإيقاعية لها.

- **ابن الجني** (ولد 933م): من علماء النحو ومؤلف "سر صناعة الإعراب".

- **ابن سينا** (980-1037م): مؤلف "السماع الطبيعي من كتاب الشفاء"، وكتاب "رسالة أسباب

يؤكد كريمة (L. Cremer) قائلاً عن المعماريين في العصور الإسلامية:

"من المؤكد أن لديهم معرفة متخصصة في الصوتيات، ولكن ليس لدينا معلومات عن تلك المعرفة".^[5]

ومن هنا كانت أهمية البحث في الوقوف على بعض تلك المفاهيم والمعرفة.

2-1 هدف البحث

الهدف الأساسي للبحث هو محاولة الوقوف على جزء من القاعدة المعرفية المختصة بعلم الصوت في العصور الإسلامية، والتأكد من إتاحتها لمعماري ذاك العصر.

3-1 منهج البحث

جمع المتفرقات المتعلقة بما يخص علم الصوت من العديد من مخطوطات تلك الفترة محل الدراسة، وربطها مع بعض، وتحليلها استناداً عما هو معلوم الآن في هذا العلم.

2- خلفية تاريخية

امتازت الحضارة الإسلامية بالتقدم العلمي الهائل - على يد علماء كبار: كالبيروني، وابن سينا، والجلدي، والخوارزمي، والحسن بن الهيثم، هذا التقدم الذي أرسى قواعد العلوم الحديثة التي قامت عليها الحضارات اللاحقة. وقد شمل هذا التقدم

درس من العلوم العقلية (التي تسمى علوم الفلسفة والحكمة، وهي سبعة: المنطق فالأرثمطاطيقي ثم الهندسة ثم الهيئة ثم الموسيقى ثم الطبيعيات ثم الإلهيات، ولكل واحد منها فروع تتفرع عنه^[8]) ما يلي: علم الفرائض والحساب على يد الشهابيين الخواص والبوتيجي؛ كما تعلم على يد المجدي الجبر والمقابلة، وغير ذلك من الحساب المفتوح، وتعلم الفلك، والمقنطرات، والجبر، والهندسة، والهيئة، والحكمة، ونحوها على يد الكافياجي والشرواني^[9].

ومن العلوم النقلية: تعلم العربية على يد الخواص والقلقشندي وآخرين من علماء القاهرة، ودرس التصوف والمعاني والبيان وفن الأدب؛ والذي من فنونه الشعر علم العروض، والذي يبحث فيه عن أحوال الأوزان الواجبة للشعر والمختصة بالألفاظ والتراكيب العربية طبقاً للإيقاعات المتبعة في البحور الستة عشر عند العرب على ما وضعه مؤسس هذا الفن خليل بن أحمد، فعلى الأول: يكون من فروع الموسيقى، وعلى الثاني: من فروع علم الشعر على مذهب المتأخرين،^[8].

● والمهندس أحمد بن عبيد الله الشهاب السجيني:

"حفظ الألفية لابن مالك وشذور الذهب وإشغل في الفقه وإشددت عنايته بملازمة ابن المجدي في الفقه وأصوله والعربية والفرائض والحساب والمساحة والجبر والمقابلة والهندسة والميقات وسائر فنونه التي إنفرد بها، وقصر نفسه عليها

حدوث الحرف"، والذي قام فيه بدراسة الصوت وعملتي النطق والسمع.

● **الجلدي** - عز الدين أيدمر الجلدي - العالم الكيميائي - (توفي 1361م): مؤلف "أسرار الميزان" والذي تناول فيه بالوصف ظاهرتي الصوت والصدى.

هذا بالإضافة لفضل العديد من العلماء الآخرين في مناقشتهم لمسألة السمع وعملية النطق، ممن لا يتسع المجال لذكرهم هنا، وإن كان ذلك لا يُنقص من حقهم وفضلهم في ذلك العلم.

2-2 معماري العصور الإسلامية

اتسم المتعلمون في العصور الإسلامية بموسوعية العلم، حيث تتم دراسة العديد من العلوم ما بين: الأدبية (نقلية) والعلمية (عقلية)؛ وما يؤكد ذلك ما ذكره السخاوي عن عبد السلام بن أحمد البغدادي - أحد المتعلمين - أنه درس:

"أصول الدين وآداب البحث عن السراج الزنجاني، وأصول الفقه، والنحو والصرف، والطب، والمعاني والبيان، وعلم الجدل، وعلم الموسيقى، وعلم التصوف، والمنطق، والجدل، والعروض، والتفسير، والقراءات"^[8].

ومن خلال تناول دراسة بعض المعمارين - من موسوعة الضوء اللامع - يذكر السخاوي - على سبيل المثال - أن:

● المهندس ابن الصيرفي:

3-1 الموجات The Waves

وضح في العصور الإسلامية المفهوم الفيزيائي للتشكلات الطبيعية؛ والتي خُص العلماء من خلال استدلالاتهم وملاحظاتهم إلى وجوب تشكلها الكروي دون أي من الأشكال الأخرى، وهو ما يذكره ابن سينا في كتابه النجاة:

"والتشكلات الطبيعية فقد قيل أنها لا تجوز أن تكون ذات زاوية فلا تكون إلا كرة لأن سائر ما لا زاوية له من الأشكال البيضية والمفرطحة يكون فيها اختلاف امتداد عن المركز وتفاوت في الطول والعرض. والطبيعة البسيطة لا توجب اختلافاً فإذا صح وجود الكرة صح وجود الدائرة التي هي نهاية قطع يحدث أو يتوهم فيها. فالدائرة وهي مبدأ للمهندسين موجودة والخط المستقيم وهو البعد الواصل بين كل نقطتين ظاهر الوجود" [11].

ومن هنا يصف إخوان الصفا التشكلات الحادثة للصوت - سواء كانت في الهواء أو الماء - بشكل الموجات الكروية قائلين:

"... فإذا صادم جسم جسماً انسل ذلك الهواء من بينهما بحمية وتدافع وتموج إلى جميع الجهات، فحدث من حركته شكل كروي" [12].

كما يؤكد ذلك ابن سينا فيوضح في كتابه الشفاء - في عرض كلامه عن الصوت - قائلاً:

بحيث تكرر له أخذ كثير من هذه الفنون عنه غير مرة وكان جل إنتقاعه بها. [8].

• مرجان الأشرف برسبائي (شاد السواقى):

"اشتغل في الحساب والهيئة والهندسة والميقات" [8].

وهنا يمكن حصر بعض العلوم التي تُدرس للمعماري: كالعلوم النقلية التي تشمل: علوم اللغة العربية، وفن الأدب والبيان - متضمناً علم حدوث الحروف - وعلم الإيقاع والعروض - متضمناً علم الموسيقى - وعلم الموسيقى. والعلوم العقلية التي تشمل: الهندسة والهيئة والحساب. وهي علوم موسوعية ترتبط أو تشمل علم الصوت.

ومن المعهود في ذاك العصر عند دراسة أي من تلك العلوم دراسة العديد من مؤلفات العلماء المختصين فيها إضافة للمؤلفات الأصلية وأمّهات الكتب في هذا العلم، وهو ما يؤكد تناول المعماريين العديد من تلك المؤلفات، وحصولهم على تيار معرفي واسع في هذا المجال.

3- الصوت The Sound

يُعرف الصوت على إنه: ظاهرة فيزيائية تثير حاسة السمع، وذلك من خلال حركة موجية في أي وسط مادي كالغاز أو السائل أو الصلب [10]. فماذا كان مفهوم العلماء في العصور الإسلامية؟!

المسافة التي يجري فيها القارع بقوة وسرعة. وأما في القلع فباضطرار القالع الهواء الذي يدفعه من المكان الذي يخلو من الهواء من القالع، وفي كليهما يلزم انقياد الهواء البعيد للتموج وشكل القالع في ذلك المكان، ويكون الانبساط في القرعي أكثر، وفي القلعي أقل، ثم يصل ذلك التموج إلى الهواء الساكن في الصماخ وإلى ذلك العصب المفروش في سطحه" [14].

وتختلف حركة الهواء الناتجة - والمسببة للصوت وبالتالي حاسة السمع - تبعاً لعدة عوامل منها:

- قوة تصادم الأجسام: والتي يوضح إخوان الصفا الفرق بين الأصوات الناتجة من اختلاف تلك القوة - سواء تصادما برفق أو بشدة - قائلين:

"إن كل جسمين تصادما برفق ولين لا تسمع لهما صوتاً لأن الهواء ينسل من بينهما قليلاً قليلاً فلا يحدث صوت، وإنما يحدث الصوت من تصادم الأجسام متى كان صدمها بشدة وسرعة، لأن الهواء عند ذلك يندفع مفاجأة ويتموج بحركته إلى الجهات الست بسرعة، فيحدث الصوت، ويسمع، والأجسام العظيمة، إذا تصادمت كان صوتها أعظم، لأنها تموج هواء أكثر" [12].

- نوع مادة الأجسام المسببة للصوت تبعاً لمقاومتها لعملية الطرق (القرع)، فيذكر الفارابي هذا المفهوم قائلاً:

"قالصوت إذن عارض يعرض من هذه الحركة الموصوفة يتبعها ويكون معها فإذا انتهى التموج من الهواء والماء إلى الصماخ..." [13].

3-2 حدوث الصوت

فسر علماء العصور الإسلامية فترة الدراسة - أسباب حدوث الأصوات؛ والتي يرجعها ابن سينا إلى سببين: إما لعملية تصادم جسمين وهو ما أسماه بالقرع (الطرق)، أو ابتعاد جسمين متلاصقين عن بعضهما بقوة وهو ما أسماه القلع. وفي كلا الحالتين يسبب ذلك تموج للهواء الساكن إلى أن يصل إلى الأذن محلاً تلك الظاهرة قائلاً:

"تقديري أن السبب القريب للصوت تموج الهواء دفعة بسرعة وقوة أي سبب كان. واشتراط أمر القرع فيه ممكن ألا يكون سبباً كلياً للصوت بل سبباً أكثرياً، وإن كان سبباً كلياً فهو سبب بعيد لا ملاصق وجود الصوت. والدليل على هذا أن الصوت يحصل مقابل القرع وذلك قلع، لأن القرع هو قرب جرم من جرم مقاوم له قريباً تابعاً له آلياً مماسة عنيفة بسرعة حركة التقريب وقوته. ومقابل هذا بعد جرم من جرم مماس له منطبق أحدهما على الآخر بعداً يتفرق من مماسته تفرقاً بقوة وسرعة حركة في التباعد، وها هنا يظهر صوت من غير أن يكون قرع. وأما تموج الهواء فلازم في كليهما بسرعة وقوة، أما في القرع فباضطرار / أن الهواء إذا صار منضغطاً من القارع، وقد وجد مخلصاً من تلك

"إن من الأجسام ما إذا زحمة جسم آخر لم يقاوم الزاحم وانقاد له، إما بأن يندفع إلى عمق نفسه مثل الأجسام الجامدة اللينة أو أن ينخرق للزاحم مثل الأجسام الرطبة، أو أن ينتحي إلى الجهة التي إليها كانت حركة الزاحم من غير مقاومة أصلاً فمتى كان كذلك، لم يوجد في الجسم الذي زحم صوت أصلاً، ومنها ما إذا زُحم بجسم آخر قاوم الزاحم فلم ينخرق له ولم يندفع، لا إلى عمق نفسه ولا إلى الجهة التي إليها حركة الزاحم، وذلك مثل جميع الأجسام الصلبة، متى كانت قوة الزاحم دون قوة الذي زُحم وحينئذ يمكن متى قرع أن يوجد له صوت..." [15]

ويوضح مفهوم تلك المقاومة بتناوله مواد مختلفة المسامية كالنحاس والصوف قائلًا:

"ومتى نبا الهواء (اندفع بشدة) من بين القارع والمقروع مجتمعاً متصل الأجزاء، حدث حينئذ صوت، وكلما كان الهواء النابي من بينهما أشد اجتماعاً، فحدوث الصوت فيه أمكن وأجود، وذلك مثل ما ينبو متى قرعت الأجسام الصلبة الملس المتراسة الأجزاء، مثل النحاس والحديد، - ويذكر الفارابي إمكانية صدور صوت للهواء والماء متى توفرت فيهما شروط المقاومة لعملية الطرق (القرع): "وقد يحدث في الهواء وحده صوت أيضاً مثل ما يعرض متى قرع بالسياط،

وذلك أن الجزء من الهواء الذي يقرعه السوط يقاوم السوط ولا ينخرق له، بل يبقى مجتمع الأجزاء متصلاً، فيقوم ذلك مقام النحاس وما أشبهه، وكذلك الماء أيضاً فإنه متى قاوم القارع وجد له صوت، ومتى انخرق ولم يقاوم؛ لم يكن له صوت أصلاً، فهذه صفة جملة حدوث الصوت كيف يكون." [15] - ومتى كان المقروع خشناً أو متخلخل الأجزاء، كان ذلك فيه أقل إمكاناً، وأقل ذلك إمكاناً الصوف والإسفنج" [15]

3-3 حركة الموجة الصوتية

يشترط في عملية نقل الأصوات وجود وسط ناقل كالهواء - الذي يقوم بالمحافظة على نقل المسموع فلا يحدث خطأ أو لبس في السمع-، وهو ما أوضحه إخوان الصفا مع ذكر سمات هذا الوسط الناقل الذي يحافظ على هيئة الصوت ولا يقوم بخلطه بعضاً ببعض قائلين:

"واعلم أن كل صوت له نغمة وصيغة وهيئة روحانية خلاف صوت الآخر؛ وأن الهواء من شرف جوهره ولطافة عنصره يحمل كل الصوت بهيئة وصيغة، ويحفظها لنألا يختلط بعضها ببعض، فتفسد هيأتها، إلى أن يبلغها أقصى مدى غاياتها عند القوة السامعة، لتؤديها إلى القوة المتخيلة" [12].

إلا أن انتشار الموجات الصوتية تتضاءل سرعتها مع كبر اتساعها؛ فقوة الصوت تقل كلما

المكان، تموج ذلك الهواء الذي هناك، فأحست عند ذلك القوة السامعة بتلك الحركة والتغيير^[12].

وبعد حدوث الصوت يتم انتقاله من خلال حركة موجية عبر الوسط الناقل - الهواء - دون أن يتحرك هذا الوسط إلى أن يصل إلى الأذن (شكل 7)، وهو ما يصفه الفارابي قائلاً:

"وأما كيف يتأدى إلى السمع ، فإن الهواء الذي ينبو من المقروع هو الذي يحمل الصوت، فيحرك بمثل حركته الجزء الذي يليه، فيقبل الصوت الذي كان قبله الأول، ويحرك الثاني ثالثاً يليه فيقبل ما قبله الثاني، والثالث رابعاً يليه، فلا يزال هذا التداول من واحد إلى واحد حتى يكون آخر ما يتأدى إليه من أجزاء الهواء هو الهواء الموجود في الصماخين"^[15].

شكل 7. الموجات الصوتية محدثة تتضاغط لجزيئات الهواء في بعض المناطق وتخلخل في أخرى^[10].

زادت المسافة بعداً عن مصدره^[10] (شكل 6) - وهذا يتفق مع قانون التربيع العكسي المعروف - وهو ما أدركه إخوان الصفا وقاموا بقياسه تمثيلاً بالموجات الحادثة عند إلقاء حجر في الماء قائلين في ذلك:

".. فإذا صادم جسم جسماً انسل ذلك الهواء من بينهما بحمية وتدافع وتموج إلى جميع الجهات، واتسع كما تتسع القارورة من نفخ الزجاج فيها، أو الماء الساكن إذا ألقى فيه حجر فيتزاحم الماء حتى يبلغ إلى أطراف الغدير. وكلما اتسع ذلك الشكل ضعفت حركته وتموجه إلى أن يسكن ويضمحل. فمن كان حاضراً من الناس وسائر الحيوانات التي لها أذن بالقرب من ذلك

شكل 6. تتناقص قوة الصوت مع زيادة المسافة بعداً عن مصدر الصوت^[10].

موجة مستعرضة

موجة طولية

شكل 8. الحركة الموجية المستعرضة والطولية [17].

جسم تحدث النغمة فذلك: إما في الأجسام المهتزة، والمهتزة هي التي متى حُركت بقيت فيها الحركة إلى الجوانب زماناً وشاعت في أجزائها شيئاً شيئاً في جزء جزء وإن فارقها المحرك، وذلك مثل الأوتار وإنما حدثت النغمة فيه، من قبل أن الحركة الباقية فيه ينفض بها الوتر الهواء عن نفسه، فتحدث في الهواء قرعات متصلة، فتدوم ما دامت تلك الحركة فيه باقية إلى أن يسكن فينقطع الصوت حينئذ" [15].

ووصف ابن سينا النغمة الناتجة عن الآلات النفخية قائلاً:

"فإن النغمة الحادثة عن النقرة تخالف النغمة الحادثة عن النفخة الزمرية والجرة الربابية بأن النغمة النفخية والجرية تمتد في جميع الزمان الذي يلي ابتداء التنغيم بتلك النغمة إلى استئناف نغمة أخرى، وأما النقرية فإنها تضعف أو تبطل عن قريب ولا تستحق الزمان الذي بينها وبين النقرة الثانية" [16].

ويُصنف العلماء الموجات الميكانيكية وفقاً لطبيعة انتشارها إلى نوعين (شكل 8):

- موجات مستعرضة: وهي الموجات التي تهتز فيها جزيئات الوسط -الحادث للصوت- في اتجاه عمودي على اتجاه انتشار الموجة الصوتية، مثل الموجات الناتجة عن الأوتار المشدودة [10].
- موجات طولية وهي التي تهتز فيها جزيئات الوسط المادي ذهاباً وإياباً في نفس اتجاه حركة انتشار الموجة كما هو انتشار الموجات الصوتية في الهواء.

إلا أن علماء ذلك العصر لم يقوموا بتحديد وتصنيف الموجات الصوتية كما هو في هذا العصر، بالرغم من إدراكهم للفرق بين الموجات الصادرة من الآلات المختلفة، فقد قام الفارابي بوصف شكل النغمة الناتجة عن الآلات الوترية قائلاً:

"والنغمة صوت لا يثبت زماناً واحداً محسوساً ذا قدر في الجسم الذي فيه يوجد، وأما في أي

4- خصائص السمع في الأذن البشرية

1-4 تشريح الأذن

تنقسم الأذن - كما هو معلوم الآن - إلى ثلاثة أجزاء هي: الأذن الخارجية، والأذن الوسطى، والأذن الداخلية [10]. ومع براعة العلماء المسلمين في علم التشريح، ونبوغ العديد منهم، مثل: ابن سينا وابن النفيس وغيرهما، قاموا بتحديد أجزاء الأذن المختلفة - مع تفسير أسباب خلقتها على هذه الهيئة - (شكل 9) والتي قسمها ابن سينا - في الكتاب الثالث الفن الرابع لكتاب القانون في تشريح الأذن - إلى:

• صوان الأذن - ليجمع الصوت ويحتفظ به

مع مساعدة عملية طنينه - والقناة السمعية، فيقول:

"اعلم أن الأذن عضو خلق للسمع، وجعل له صدف معوج ليحبس جميع الصوت ويوجب طنينه، وثقب يأخذ في العظم الحجري ملولب معوج ليكون تعويجه مطولاً لمسافة الهواء إلى داخل مع قصر تحته الذي لو جعل الثقب نافذاً فيه نفوذاً مستقيماً لقصرت المسافة، وإنما دبر لتطويل المسافة إليه لئلا يغافض [يصاب] باطنه الحر والبرد المفرط بل يردان عليه متدرجين إليه وخلقت الأذن غضروفية فإنها لو خلقت لحمية أو غشائية لم تحفظ شكل التعجير والتعريج الذي فيها ولو خلقت عظمية لتأذت ولأذت في كل صدمة بل جعلت غضروفية لها مع حفظ الشكل لين انعطاف" [18]

• والجزء الآخر والذي به طبلة الأذن - كما

تعرف الآن - فيقول:

"وثقب الأذن يؤدي إلى جوبة فيها هواء راكد وسطحها الإنسي مفروش بليف العصب السابع الوارد من الزوج الخامس من أزواج العصب الدماغي وصلب فضل تصليب لئلا يكون ضعيفاً منفعلاً عن قرع الهواء وكيفيته" [18].

ومن هنا يتم تحويل وترجمة هذه الاشارات

فيستطيع الإنسان بالتالي فهمها كأصوات فيقول:

"فإذا تأدى الموج الصوتي إلى ما هناك أدركه السمع....." [18].

شكل 9. تشريح الأذن.

4-2 القدرة السمعية (حساسية الأذن)

• إن للأذن حساسية للأصوات وقدرة على

تمييز كل منها طبقاً لحدتها وثقلها، إلا أن هناك موجات فوق صوتية لا يسمعها الإنسان، حيث إنها تقع خارج المدى الطبيعي - الذي يقع ما بين 20 إلى 20000 هرتز - الذي يمكن أن تدركه الأذن [10]؛

حركة واحدة، أو يفسر النغمة الثانية كامتداد للأولى لتوالي الحركة المحدثه لهما في وقت زمني ضئيل، ويذكر في هذا الشأن:

وقد علمت أن النغم إذا تتالت تضمنت أزمنة تتخللها، وأنت تعلم أن هذه الأزمنة ربما كانت محسوسة القدر، وربما لم تكن، بل كانت غير محسوسة القدر وذلك على وجهين:

أحدهما: كون النقرة بعد النقرة حادثة عن حركة واحدة بالاتصال المحسوس، فتكون النقرتان كنقرة واحدة، وخصوصاً إذا كانت مصادفة الثانية مع مفارقة الأولى فلا يدرك الحس تخلل المنقورتين كأنه حاصل بين المسافتين، أو إن أدرك لم يضبطه لقصر المسافة، وهذا كالنقرة التي تمر بوترين متقاربي الوضع معاً.

والثاني: أن لا تكون النقرتان عن حركة واحدة من المنقور به بل عن حركة تستأنف بعد حركة تنصرف عنها، لكن الناقر يخرج في إحداث النقرة الثانية عن وزن الحركة بزمانها ويستعجل استعجالاً يروم به أن يُقحم النقرة الثانية في النقرة الأولى، كأنه يحاول بذلك تمديداً من نغمة النقرة الأولى^[16].

• أما بالنسبة لحساسية الأذن للتمييز بين الأصوات فإن الأذن تستطيع أن تميز بين الأصوات المختلفة بفارق 3 ديسيبل^[10]، وقد وضع ابن سينا هذا المفهوم - مع فارق تحديد الشدة لعدم توفر الأجهزة التي يمكن القياس بها في ذلك الوقت - عند

وهو ما يوضحه الفارابي - في كتابه الموسيقي الكبير - من وجود مدى طبيعي مسموع للإنسان - والواقع ما بين طبقتي نهايتي حدة وثقل الصوت - بالإضافة لوجود أصوات خارج هذا المدى ولا يمكن سماعها ذاكراً:

"ونجد أن للحدة طبقات ليست طبيعية للسمع وكذلك في الثقل وطبقاته، ونجد فيها طبقات طبيعية للحس فالنغم التي هي في طبقات من الحدة والثقل طبيعية للإنسان هي بين أول طبقة من الحدة غير طبيعية وبين أول طبقة من الثقل غير طبيعية، فإذا هو كذلك، فبين أن النغم المختلفة الطبقات، أما في أنفسها فإنها يمكن أن تتزيد تزيداً بلا نهاية. وأما بحسب قياسها إلى سمع الإنسان فهي متناهية"^[15].

• وإلى جانب حساسية الأذن لإدراك الأصوات؛ فإنها أيضاً تتأثر بطول وقصر الفترة الزمنية بين الأصوات المختلفة، وقد حُدد في علم الصوتيات بألا يقل الفارق الزمني بين الأصوات المتعاقبة عن 30 ملي ثانية^[19]، وإلا فإن الصوت الثاني سيطغى على الصوت الأصلي ويدركه المستمع كصورة ثانية له. وقد وضع ابن سينا هذا الأمر - مع فارق تحديد الفترة الزمنية - متناولاً الحديث عن الأزمنة المتخللة بين النغمات والتي يجب أن تكون محسوسة؛ وإلا سيقوم الإدراك بتفسير خاطئ للنغمات؛ أما أن يعتبرها نغمة واحدة وذلك عند إحداث نقرتين على وترين متقاربين من خلال

وأربعين لم يكد الحس يميز بين النغمتين تمييزاً
يعتد به" [16].

5- خصائص المصدر الصوتي

5-1 جهاز النطق

قام ابن سينا بتوضيح الأجزاء المسئولة عن
عملية التصويت الإنساني وأهمها اللهاة - في فصل
تشریح أعضاء الحلق - قائلاً:

"يعني بالحلق الفضاء الذي فيه مجريا النفس
والغذاء ومنه الزوائد التي هي اللهاة واللوزتان .
.... وأما اللهاة فهي جوهر لحمي معلق على
أعلى الحنجرة كالحجاب. ومنفعته تدريج الهواء
لئلا يقرع ببرده الرئة فجأة ولينع الدخان والغبار
وليكون مقرعة للصوت يقوي بها ويعظم كأنه
باب مؤصد على مخرج الصوت بقدره" [18].

كما يذكر - في الفن العاشر المقالة الأولى
فصل في تشریح الحنجرة والقصة الهوائية - كيفية
عمل اللهاة قائلاً:

"وخلق لأجل التصويت الشيء الذي يسمى لسان
المزمار يتضايق عنده طرف القصة ثم يتسع
عند الحنجرة فيبتدئ من سعة إلى ضيق ثم إلى
فضاء واسع كما في المزمار فلا بد للصوت من
تضييق المحبس" [18].

عزف النغمات بحيث أوصى أن لا يكون الفرق بين
النغمة والأخرى ضئيلاً - الوحدة القياسية المستخدمة
هنا هي نسبة تقسيم طول الوتر لتحديد الأصوات
(شكل 10) - بحيث لا تستطيع الأذن تمييز الفرق بين
النغمتين قائلاً:

"ولما كان الموسيقى عدا لعمل صناعي، وجب
أن يكون عدد الأبعاد فيه، ليس على حسب
الممكن في الطباع، بل على حسب الممكن
للإنسان، وليس أيضاً على حسب الممكن
للإنسان كيفما اتفق، بل على حسب الممكن
للإنسان على الوجه الأجود والأفضل

مثال الأول: أن يكون التفاوت بجزء من مائتي
جزء، مثلاً فإن الحاسة حينئذ لا تميز الفرق بين
النغمتين.

ومثال الثاني: أن يكون التفاوت بجزء من
ستين أو سبعين، مثلاً فيحس بالتفاوت إلا أنه يستقل
جداً ويستقرب ما بين طرفي البعد ويستحقر أثر
الإنفاق....." [16].

كما يذكر ابن سينا في "السماع" عدم تمييز
الأذن لنغمتين متتاليتين إذا كان الفرق بينهما جزءاً
من ثلاث وثلاثين - وهي نسبة هندسية تم حسابها
من تقسيم الوتر - فيقول:

"وإذا نزل في الأبعاد الصغار عن الزائد جزءاً من
ثلاثة وثلاثين لم يكد الحس يميز الفرق بين
الأبعاد التي تليه، وإذا بلغ الزائد جزءاً من خمسة

5-2 عملية التصويت

كان مفهوم العلماء عن عملية التصويت أنها تتم من خلال خروج الهواء من الصدر الذي يتشكل في الفم، كما يذكر الفارابي قائلاً:

"والتصويت الإنساني يحدث بسلوك الهواء في الحلق وقرعه مقعرات أجزاء الحلق وأجزاء سائر الأعضاء التي يسلك فيها، مثل أجزاء الفم وأجزاء الأنف. ... " [15].

وقد وضع الفارابي الفرق بين الهمس والحديث قائلاً:

"فإذا دفع الإنسان هواء التنفس إلى خارج جملة واحدة وترفق لم يحدث صوت محسوس، وإذا حصر الإنسان هذا الهواء في رثتيه وما حواليتها من أسفل الحلق، وسرب أجزاءه إلى خارج شيئاً شيئاً على اتصال، وزحم به مقعر الحلق وصدم أجزائه حدثت حينئذ نغم، بمنزلة ما تحدث بسلوك الهواء في المزامير " [15].

5-3 سمات الصوت

لقد قام العلماء في ذاك العصر باستخدام الاستدلال بالمماثلة على الآلات الموسيقية - وخاصة الناي والعود - لدراسة عملية التصويت فيماثل ابن الجني الحلق بالناي ووتر العود قائلاً:

ولأجل ما ذكرنا من اختلاف الأجراس في حروف المعجم باختلاف مقاطعها التي هي

أسباب تباين أصداؤها، ما شبه بعضهم الحلق والفم بالناي، فإن الصوت يخرج فيه مستطيلاً أملس ساذجاً، كما يجري الصوت في الألف غفلاً بغير صنعة، فإذا وضع الزامر أنامله على خروق الناي المنسوفة، وراوح بين أنامله، اختلفت الأصوات وسمع لكل خرق منها صوت لا يشبه صاحبه، فكذلك إذا قطع الصوت في الحلق والفم باعتماد على جهات مختلفة، كان سبب استماعنا هذه الأصوات المختلفة.

ونظير ذلك أيضاً وتر العود فإن الضارب إذا ضربه وهو مرسل سمعت له صوتاً، فإن حصر آخر الوتر ببعض أصابع يسراه، أدى صوتاً آخر، فإن أدناها قليلاً، سمعت غير الإثنين، ثم كذلك كلما أدنى أصبعه من أول الوتر تشكلت له أصدااء مختلفة، إلا أن الصوت الذي يؤديه الوتر غفلاً غير محصور، نجده بالإضافة إلى ما أداه وهو مضغوط محصور، أملس مهتزاً، ويختلف ذلك بقدر قوة الوتر وصلابته وضعفه ورخاوته، فالوتر في هذا التمثيل كالحلق، والخفقة بالمضرب عليه كأول الصوت من أقصى الحلق، وجريان الصوت فيه غفلاً غير محصور كجريان الصوت في الألف الساكنة، وما يعترضه من الضغط والحصر بالأصابع كالذي يعرض للصوت في مخارج الحروف من المقاطع، واختلاف الأصوات هناك كاختلافها

التي تبعد عنها تقوم مقام الدساتين التي تقرب من اليد القارعة لأوتار العيدان والطنابير أو مقام ثقب المزامير التي تبعد عن فم الزامر فإن أجزاء الهواء السالك في أجواف المزامير متى صدمت أمكنة هي أقرب إلى فم النافخ حدثت عنها نغم أحد ومتى صدمت أمكنة أبعد عن فم النافخ حدثت عنها نغم أثقل.... وكل واحدة من هذه الأحوال التي هي أسباب للحدة والثقل، إنما تحصل في أعضاء الصوت بمعونة أعضاء من أعضاء الصدر وبمعونة كثير من أجزاء الأعضاء التي تجاور الصدر من تحته، مثل الأضلاع والخواصر، وبمعونة أجزاء من الأعضاء التي تجاور الحلق واللهايات والأنف من أعلى جسم الإنسان" [15].

وقام علماء ذاك العصر بدراسة الحروف العربية ومخارج نطقها وسمه كل واحدة منها وهو ما لزم في دراسة التجويد والقراءات القرآنية (شكل 11) ومن هؤلاء: ابن الجني وابن سينا حيث قاما بتصنيف الحروف من عدة أوجه مثل الحركات والسكون، المخارج... إلخ، فيقول ابن سينا في كيفية نطق الحروف:

"والحرف هيئة للصوت تظهر فيه، تميزه من صوت آخر مثله في الحدة والثقل، إذا ظهر في المسموع تميز من غيره. والحروف بعضها مفردة، وحدوثها من حبسات للصوت أو الهواء الفاعل للصوت، يتلوها الإطلاق دفعة. وبعضها

هنا. وإنما أردنا بهذا التمثيل الإصاغة والتقريب. .. أعنى علم الأصوات والحروف، له تعلق ومشاركة للموسيقى، لما فيه من صنعة الأصوات والنغم" [20].

ويوضح الفارابي إمكانية التحكم في مخارج الأصوات - من خلال الحلق - وأسباب اختلافها نتيجة: سعة الحلق وقوة دفع الهواء وكميته ومكان صدم الهواء للحلق قائلاً في ذلك:

"وزحم به مقعر الحلق وصدم أجزائه حدثت حينئذ نغم، بمنزلة ما تحدث بسلوك الهواء في المزامير فإذا ضيق مسلكه كانت النغمة أحد، وإذا وسع كانت النغمة أثقل. وكذلك إن صدم الهواء السالك، أو بعض أجزائه، جزءاً من الحلق أقرب إلى القوة التي تدفع ذلك الهواء كان الصوت أحد، وإن صدم جزءاً من الحلق أبعد عن القوة الدافعة له كان الصوت أثقل. وكذلك إن كان الهواء السالك فيه أكثر كان الصوت أثقل وإن كان أقل كان الصوت أحد، وكذلك إن كانت القوة الدافعة أقوى أو أضعف، أو إن كان سلوكه على مقعر الحلق وهو أصلب أو ألين، أو أخشن أو أشد ملاسة، كانت النغمة أما بأحدهما فأحد وأما بالآخر فأثقل. وأجزاء مقعر الحلق التي تقرب من القوة الدافعة للهواء إلى الخارج، تقوم في الحلق مقام الدساتين التي تبعد من اليد القارعة لأوتار العيدان والطنابير أو مقام ثقب المزامير التي تقرب من فم النافخ وأجزائه

مركب، وحدوثها متصل بالإطلاق بدفعه، وبعضها مركب وحبسها ليس تاماً ولكن بالاطلاقات»^[14].

وقد قسم إخوان الصفا الأصوات عامة تبعاً لسمات تميزها بعضها من بعض (شكل 12) ذاكرين في ذلك:

"إن الأصوات تنقسم من جهة الكيفية ثمانية أنواع، كل نوعين منها متقابلان من جنس المضاف، فمنها: العظيم والصغير، والسريع والبطيء، والحاد والغليظ، والجهير والخفيف. فأما العظيم والصغير من الأصوات فبإضافة بعضها إلى بعض، والمثال في ذلك أصوات الطبول، وذلك أن أصوات طبول المواكب إذا أضيفت إلى أصوات طبول المخانيث، كانت عظيمة، وإذا أضيفت إلى أصوات الكوس كانت صغيرة. وأصوات الكوس إذا أضيفت إلى أصوات الرعد والصواعق كانت صغيرة - والكوس هي طبل عظيم يُضرب في ثغور خراسان عند النفير يُسمع صوته من فراسخ -. فعلى هذا المثال يعتبر عظم الأصوات وصغرها بإضافة بعضها إلى بعض.

وأما السريع والبطيء من الأصوات بإضافة بعضها إلى بعض، فهي التي تكون أزمان سكونات ما بين نقراتها قصيرة بالإضافة إلى غيرها، والمثال في ذلك أصوات كودينات

(مطارق) القصارين ومطارق الحدادين فإنها سريعة بالإضافة إلى أصوات دق الرزازين (بائع الأرز) والجصاصين، وهي بطيئة بالإضافة إليها، وأما الحاد والغليظ من والأصوات تنقسم من جهة الكمية نوعين: متصلة ومنفصلة. فالمنفصلة هي التي بين أزمان حركة نقراتها زمان سكون محسوس، مثل نقرات الأوتار وإيقاعات القضبان. وأما المتصلة من الأصوات فهي مثل أصوات المزامير والدبابات والدواليب والنواعير [السواقي] وما شاكلها. والأصوات المتصلة تنقسم نوعين: حادة وغليظة، " ^[12].

6- انعكاس الصوت

6-1 ظاهرة الانعكاس

ظاهرة انعكاس الصوت هي عملية ارتداد الموجات الصوتية عندما تقابل سطح عاكس لها (شكل 13)، ويذكر إخوان الصفا ظاهرة انعكاس الموجات الصوتية - وحدوث الصدى - من خلال اصطدامها بجائل يمنع انتشارها فترتد عائدة قائلين في ذلك:

"فالصوت الذي يسمع عندما يتكلم متكلم في سفح جبل أو صاح في قعر بئر أو نهر وأجابه مجيب بمثل كلامه فالصوت الذي يسمعه إنما هو صوته والحركة التي بدت منه في الهواء وذلك أنه صاح في سفح الجبل وقعر البئر إلى جانب الحائط، فخرج من جوف المتكلم شكل

كروي ونقش عرضي يأخذه الهواء إلى أن يؤديه
إلى ذلك الموضع، فيصادفه ما يمنعه من النفوذ
والانتشار، فيرتد راجعا فيسمع منه ذلك الصوت
وهو الصدى^[12].

شكل 10: تقسيمات العود عند الفارابي^[16].

شكل 11. أشهر الأصوات ومخارجها من الفم^[21].

شكل 12. أنواع الصوت تبعاً لتصنيف اخوان الصفا.

بالصدى لإنهاء الإحساس بالصوت الأصلي من الأذن^[19]. وقد علم علماء هذا العصر بتلك الظاهرة مع عدم تحديدهم الزمن أو المسافة السالفة الذكر؛ فمن المعلوم لديهم بدايةً أن هناك زمن محدد يلبثه الصوت في الأذن وهو ما يذكره إخوان الصفا قائلين:

وأعلم يا أخي أن الأصوات لا تمكث في الهواء زماناً طويلاً إلا ريثما تأخذ المسامع حظها من الطنين، وهكذا أيضاً طنين الأصوات لا يمكث في المسامع زماناً إلا ريثما تأخذ القوة المتخيلة رسومها. ثم تضمحل من المسامع تلك الطنينات^[12].

كما معلوم أيضاً أن هناك تفاوت زمني يحدث في عملية الإنعكاس بين الصوت وصداه وهو ما ذكره الجدلكي قائلاً:

شكل 13. انعكاس الصوت الناتج من مصدر صوت على سطح مستوي^[10].

ويتوقف الإحساس بالصدى على الزمن المستغرق لانعكاس الموجات الصوتية؛ وبالتالي على المسافة بين مصدر الصوت والحائل، فإذا قطع الصوت ذهاباً وإياباً- المسافة بين مصدره والحاجز في زمن أقل من 30 مللي ثانية فإن الصوت المنعكس يمتزج بالصوت الأصلي وتحس الأذن بهما كصوت واحد، أما إذا زاد الفارق الزمني فيُحس

فإن صوتيهما يكونان متساويين، فإن كان أحدهما أجوف، كان صوته أعظم، لأنه يصدم هواء كثيرا داخلا وخارجا" [12].

وقد فسروا هذه الظاهرة بتوضيحهم عملية الإصطدام المتكرر للموجات الصوتية المنعكسة في الأسطح المجوفة سواء الواسعة الحجم أو الطويلة منها (شكل 14) قائلين في ذلك:

"والأجسام الصلبة المجوفة كالأواني والطرجهات (شبه كؤوس) والجرار، إذا نقرت طنت زمنا طويلا، لأن الهواء في جوفها يتردد ويصدمها مرة بعد مرة، وتارة بعد تارة، إلى أن يسكن، فما كان منها أوسع، كان صوتها أعظم، لأنه يصدم هواء كثيرا داخلا وخارجا. والبوقات الطوال كان صوتها أعظم، - وقد تصل قوة الصوت باستخدام البوق كما يذكر ابن سينا إلى كسر الصخور قائلا:

"فإن الصوت العظيم ربما دك أنفاً من الجبل، وها هنا جبال إذا صيح فيها انحطم أركانها . والرعد يهد الأبنية المشيدة ويقلب قلل [قمم] الجبال، ويفلق الصخور الصم، ومن الناس من يفتح القلاع المبنية في القل بتكثير البوقات واللاحاح عليها " [23] - لأن الهواء المتموج فيها يصدمها في مروره مسافة بعيدة" [12].

أما عملية بقاء واستمرار الصوت لفترة زمنية نتيجة الانعكاسات المتتالية فهي تتوقف على عدة عوامل منها: حجم الفراغ التي تنعكس عنده الموجات

"والموجب للصدا إن كان داخلاً فيه ثبت للصدا زمناً لتفاوت الانعكاس بتعاقب الاندفاع، والصدا إن كان يتشكل بمقاطع الحروف فليس ذلك من حيث هو هواء مطلقاً..." [22].

أما بشأن توقف الإحساس بالصدى على المسافة فيذكرها الجلدكي مدلاً ذلك بوضوح الفرق بين الحديث في فراغ مفتوح كالصحراء وبين فراغ مغلق كالبيت قائلا:

"قافهم وأما الصدا فإنه يحصل من انعكاس الهوا المتموج من مصادم عالٍ كجبل أو حائط محفوظاً فيه تقطيعات الحروف إن كانت فيه حاصلة، ويجوز أن لا يقع الشعور بالانعكاس لقرب المسافة فلا تحس تفاوت زماني بين الصوت وعكسه ولهذا يكون المعنى في البيت أقوى مما هو خارج الصحرا كما قال الشاعر في ذلك : ما في الديار مجاوب إلا صدا الصوت ناديت أين أجبني فأجاب أين أجبني" [22].

6-2 الأسطح العاكسة

كان عند العلماء ادراك بالفرق بين انعكاس الموجات الصوتية على الأسطح المستوية والأسطح المجوفة، وهو ما يتضح في قول اخوان الصفا بدايةً بذكر الفرق بين الأصوات الناتجة من الأجسام المختلفة الأشكال: المستوية والمجوفة منها كالتالي:

"وكل جسمين من جوهر واحد، مقدارهما واحد، وشكلهما واحد، نقرأ نقرة واحدة معا،

7- قوانين حركة الموجات الصوتية

أمكن استقراء بعض المفاهيم التي تحكم انتشار الموجات الصوتية وتحدد نوعية الصوت من مقولات بعض العلماء كما يلي:

7-1 علاقة الصوت بكثافة الهواء

يوضح الفارابي علاقة نوع الصوت بكثافة الهواء فكلما زادت كثافته - والتي تتوقف عليها سرعته - كان الصوت حاداً، وكلما قلت كثافته فيكون الصوت أثقل وأرخم:

"وأما حدة الصوت وثقله فإنما يكون بالجملة متى كان الهواء النابي شديد الاجتماع أو كان في الحال الدون من الاجتماع، فإنه إن كان شديد الاجتماع كان الصوت أحد ومتى كان أقل اجتماعاً وتراصاً كان الصوت أثقل، وجميع ما يفعل الاجتماع الأشد في الهواء هو السبب في أن يفعل الصوت الأحد، وما يفعل الاجتماع الدون فهو السبب في أن يفعل الصوت الأثقل. وأحد ما يفعل الاجتماع في الهواء هو سرعة حركته وسرعة نبوه (شدة اندفاعه) فإنه بسرعة حركته يسابق بشدته فيصل إلى السمع مجتمعاً. وكذلك متى كان زحم القارع أشد كان الصوت أحد من قبل أن يفعل في الهواء النابي اجتماعاً أشد، ومتى كان زحمه أقل كان الصوت أثقل" [15].

كما يذكر الفارابي:

الصوتية، ومقدار تجويفه فيوضح إخوان الصفا بقولهم:

"والأجسام الصلبة المجوفة كالأواني وغيرها إذا نقرت طنت زماناً طويلاً، لأن الهواء يتردد في جوفها ويصدم في حافاتها ويتموج في أقطارها وما كان منها أوسع كان صوته أعظم، لأن الهواء يتموج فيها ويصدم في مروره مسافة بعيدة ... حدثت من ذلك فنون الأصوات والدوي والطنين مختلفة الأنواع كل ذلك بحسب كبر الأجسام المصدومة وصغرها وتجويفها" [12].

وهو ما يؤكد الفارابي بالإضافة لتوضيح إمكانية حدوث إنعكاس الصوت عند مصادمته جسم آخر قائلاً:

"وإما الهواء الذي يسرب شيئاً شيئاً بدفع شديد في جسم مجوف مقروع، فيقرع الهواء جوانب باطن الجسم أو يقرع الهواء نفسه بعضه بعضاً على اتصال زماناً ما، فإنه تحدث نغمة وذلك مثل ما في المزامير وما أشبهها. أو يكون الهواء المقروع أو الهواء النابي [الناج] عن المقروع يتدحرج على جسم أملس، أو يكون هذا الهواء نفسه إذا فارق الذي عنه نبا، يتفق فيه أن يصدم جسماً آخر فينبو عنه أيضاً، وينكفي (يعود راجعاً) فيصدم من خلفه آخر، ثم ينكفي أيضاً فيصدم آخر، ولا يزال هذا التداول حتى تسكن حركته، فإنه تحدث نغمة" [15].

أصوات المخروقة [المشدودة] حادة، وأصوات المسترخية غليظة، وإن كانت متساوية في الغلظ والطول والخرق مختلفة في النقر، كان أشدها نقرا أعلاها صوتاً" [12].

إلا أن الفارابي يحدد مقدار الاختلاف بين صوتين تبعاً لاختلاف طول الوتر؛ إذ حدد أن الصوت الناتج عن وتر طوله ضعف الآخر إنما صوته ضعف الآخر، وهو فعلاً ما يعرف الآن نتيجة أن تردد الوتر الأقصر يكون ضعف الوتر الأكبر (شكل 15) فيذكر في هذا الشأن:

"إنه متى وقف من وترين متساويين في كل شيء سوى الطول والقصر، على قدر أحدهما من الآخر، وقف من النغمتين المسموعتين منهما على قدر إحداها من الأخرى، من قبل أنه إن كان أحدهما ضعف الآخر في الطول، فإن النغمة المسموعة من الأطول هي ضعف النغمة المسموعة من الأقصر" [15].

"وأيضاً فمتى كان الهواء المدفوع أكثر وكانت قوة الذي دفعه أضعف كان الهواء أبطأ حركة ويكون من الاجتماع بالحال الدون فيكون الصوت أثقل ومتى كان الهواء قليلاً والقوة الدافعة أقوى كانت حركة الهواء أسرع وكان أشد اجتماعاً فكان الصوت أحد" [15].

2-7 التردد

يتوقف تردد أي وتر على عدة عوامل منها طول الوتر وسمكه وقوة شدة^[1]، وهو ما وضعه إخوان الصفا في الفرق بين الأصوات الناتجة من الأوتار تبعاً لتنوع ترددها (اهتزازها) قائلين:

"أن أصوات الأوتار المتساوية الغلظ والطول والخرق [الشدة] إذا نقرت نقرة واحدة كانت متساوية، وإن كانت متساوية في الطول مختلفة في الغلظ، كانت أصوات الغليظ أغلظ وأصوات الدقيق أحد، وإن كانت متساوية في الطول والغلظ، مختلفة في الخرق [الشدة]، كانت

ب- الموجات المنعكسة على سطح أسطواني

(الناي)

أ- الموجات المنعكسة على سطح مجوف

(جرار)

شكل 14. الموجات المنعكسة على أسطح مجوفة.

شكل 15. المنحنى الجيبي لتردد وتر ونصفه.

♦ تداخل هدام

♦ تداخل بناء

شكل 16: تداخل الموجات.

ب. الموجات التوافقية المختلفة لأحد الأوتار

أ. تقسيم وتر العود لنغماته الأساسية [24]

شكل 17: تقسيمات الوتر المختلفة وموجاته التوافقية

7-3 تداخل الأصوات

تزداد شدة صوت موجتين صوتيتين عندما تتقابل مواضع تضاعطات كل منهما وتخلخلات كل منهما، ويُسمى هذا الوضع بالتداخل البناء، ويكون هذا التوافق عندما يكون تردد أحد الموجتين جزءاً من مكونات تردد الأخرى؛ بمعنى أن يكون تردد أحدهما ضعف الأخرى أو ثلاثة أمثالها أو ... إلخ، وقد تتعدم شدة الصوت في بعض المواضع حينما تلتقي تضاعطات أحد المصدرين بتخلخلات الآخر ويسمى تداخل هدمي (شكل 16). وقد وصف الفاربي تلك الظاهرة عند مقارنته بين الإحساس بسماع النغمات فوصف عمليتي التداخل البناء والتداخل الهدام - بالمفهوم الحالي - وأطلق عليهما مصطلحي البعد المتفق والبعد المتباين، فيقول:

"كل نغمتين سمعتا من مكانين، وكانت إحداهما حادة والأخرى ثقيلة، في زمان واحد أو في زمانين متقاربين، فإن مجموع النغمتين في السمع يسمى البُعد، وقد يسمى المدة، فالْبُعد هو مجموع نغمتين مختلفتين في الحدة والثقل. ومتى كانت نغمتا البعد، إذا سُمعتا امتزجتا حتى تصيرا كنغمة واحدة في المسموع، فإن تنيك النغمتين تسميان متققتين، والبُعد الذي له تانك النغمتان يُسمى (البعد المتفق النغم) ومتى كانت النغمتان بهذه الحال فهي التي يَألفها السمع، فيكون عنده

لذة، ومتى لم تُختلطاً كانت النغمتان متباينتين، وما كان هكذا فإنه كريحه المسموع" [15].

وقد صنف البغدادي البعد المتفق إلى نوعين: أحدهما الناتج من تردد وتر ونصفه، فيُصدرا نفس النغمة -مع اختلاف التردد- وهو ما اسماه بالإتفاق التام، والنوع الآخر هو الإتفاق غير التام حيث يختلف الصوت الناتج ويحدث عندما يكون أحدهما جزءاً من الآخر، فيقول:

"ثم اعلم أن كل نغمتين، إذا جستا، إما أن تتفقا أو تتنافرا، فإن اتفقتا فهو البعد المتفق، وإن تنافرتا فهو البعد المتنافر.

ثم البعد المتفق، إما أن يكون في غاية الاتفاق، بحيث إذا جستا معا كانتا كأنهما نغمة واحدة وقام كل واحدة منهما مقام الأخرى في التأليف اللحني، كنغمتي (أ) و(يح)، فيسمى هذا: (البعد الذي بالكل) فنسبة (أ) إلى (يح) نسبة الضعفان لأن نغمة (أ) مقدار وترها ضعف مقدار وتر (يح). وإما أن تتفقا معاً ولا تقوم إحداها مقام الأخرى، وهما بعدان: البعد الذي بالخمس والبعد الذي بالأربع. فأما البعد الذي بالخمس فكنغمتي (أ) و(يا) فنسبة (أ) إلى (يا) نسبة المثل والنصف، لأن وتر نغمة (أ) مثل وتر نغمة (يا) ومثل نصفه" [24].

4-7 الصوت وسرعة الهواء

تؤثر سرعة الهواء على عملية السمع فكلما زادت لا يتم إدراك الأصوات كما هو في حالة سكون الهواء ويقول إخوان الصفا في ذلك:

"السمع لا يدرك من الأصوات في وقت هيجان الريح وحركة الهواء ما كان يدرك من ذلك في وقت سكون الهواء وهدوء الريح" [12].

كما أن من أسباب عدم سماع الأصوات؛ ضعف انتشار الموجات الصوتية نسبة لسرعة الهواء، أو بعد المصدر عن السامع مما يؤدي لتلاشي الموجات الصوتية قبل وصولها إليه، ويدل على ذلك إخوان الصفا بقولهم:

"وأما حاسة السمع فإنها لا تكذب وقلما تخطئ، وذلك لأنه ليس بينها وبين محسوساتها إلا واسطة واحدة وهي الهواء، وإنما يكون خطؤها بحسب غلظ الهواء ورقته، وذلك أنه ربما كانت الريح عاصفة والهواء متحركاً حركة شديدة، فيصوت المصوت في مكان قريب من المسمع، فلا يُسمع من شدة حركة الهواء وهيجانه، فتكون حركة ذلك الصوت يسيرة في شدة حركة الهواء وهيجانه، فيضعف عن الوصول إلى الحاسة السامعة. وإذا كان الهواء ساكناً وصل ذلك الصوت إلى الحاسة، إذا كان في مكان يمكن أن يتصل به ذلك التموج والحركة الحادثة في الهواء. فأما إذا كانت المسافة بعيدة فإنها لا

تدركه وتتلأشي تلك الحركة وتتفد قبل وصولها إليها" [12].

5-7 مفاهيم معلومة

من المفاهيم المعلومة إنه عند وضع حائل في مسار الموجة الصوتية فإنه يحد من انتشارها أو نفاذها، مما يمنع سماعها ويذكر الجلدكي في ذلك:

"ومن أخذ أنبوبة ووضع أحد طرفها في فمه ووضع طرفها الآخر على صماخ أذن إنسان وتكلم فيها بصوت عالٍ سمعه ذلك الإنسان دون الحاضرين" [22].

6-7 العوامل التي تتوقف عليها درجة الصوت

العوامل التي تتوقف عليها درجة الصوت (من الحدة والنقل) هي: قوة إندفاع الهواء وطول وشدة ورخاوة مصدر الصوت، فيقول الفارابي:

"ولهذا السبب يعرض في المزامير أن تكون الثقب الصغار يخرج منها الصوت أحد والكبار منها يخرج منها الصوت أثقل.

وقد يتفق في بعضها أن تكون الثقب الكبار التي تقرب من فم الزامر، يخرج الصوت منها أحد مما يخرج من الثقب الصغار التي تبعد من فمه، والسبب في ذلك، أن الهواء الخارج من الثقب الكبار التي تقرب من فمه، إنما يخرج من قوة نفخه ولما تكل القوة بعد والخارج عما بعد من الثقب، فإن القوة تضعف عنه فيكون أبطأ حركة.

في مدارس متجاوزة حتى أنه أمكن للخطيبين سماع بعضهما البعض في بعض الأماكن ، فيقول:

"وبعد ذلك كثرت إقامة الخطبة في بعض المدارس حتى ولو كانت قريبة من بعضها البعض بحيث كان يسمع أحد الخطيبين ببعض الأماكن الآخر" [26].

ويشير هذا الوصف الانتباه والتساؤل؛ هل كانت تستخدم آلات تساعد على تكبير الصوت ولو بشكل بسيط؟ لحدوث تلك الظاهرة ووصول صوت الخطيب للمباني المجاورة.

• ذكرت إحدى المقولات في موسوعة (البداية والنهاية) لابن كثير أنه (في سنة سبع وستمائة):

"قال أبو شامة: وجعل له إمام راتب وأول من تولاه رجل يقال له: النفيس المصري وكان يقال له بوق الجامع لطيب صوته إذا قرأ على الشيخ أبي منصور الضيرر" [27].

ويُفسر البعض لفظ بوق هنا بارتفاع صوت الإمام كالبوق، إلا أن هذا التشبيه وخاصة اقتران البوق بالمسجد يُرجح وجود أداة ما تشبه البوق تُستخدم في المساجد لتكبير الصوت عند إلقاء الخطب.

• وبالاستناد والبحث في موسوعة (الجامع بين العلم والعمل النافع في صناعة الحيل) للجزري - المهندس بديع الزمان أبو العز بن إسماعيل الملقب بـ **الجزري** (1136-

وأيضا فإن الأوتار متى كانت أصلب وأشد ملاسة كان صوتها أحد، وأنها إذا كانت على غلظ واحد وتفاوتت في الطول فإن أطولها وأقصرها متى فُرع بقوة واحدة، كان صوت الأطول أثقل بسبب إبطاء حركته وصوت الأقصر أحد بسبب سرعته حركته وكذلك متى كانا على طول واحد وتفاوتاً في الغلظ. وكذلك متى كانا متساويين في الغلظ والطول، فإن أرخاهما أثقلهما صوتاً وأشدّهما توتراً وامتداداً هو أحد، من قبل أن حزقه وشدة مده يجعل سطحه أشد ملاسة فينبو عنه الهواء وهو أشد اجتماعاً، وأيضا يكسبه ذلك سرعة الحركة." [15]

8- أجهزة الصوت

يسترعى الانتباه وجود المساجد العديدة ذات المساحات الضخمة، وكيفية سماع المصلين صوت الإمام خاصة عند إلقاء الخطب، إذ من البديهي إن لم يستطع المصلون السماع في تلك المساحات الضخمة لفرغات الصلاة فلم يتم بناءها بشكل متكرر على مر العصور؟ ولذا كان التساؤل هل استخدمت أي من الآلات المكبرة للصوت لإمكانية سماع المصلين الخطب داخل تلك المساجد؟ ومن خلال بعض الأبحاث والمخطوطات وجد ما يمكن أن يساعد في الإجابة عن هذا السؤال:

• يذكر د. محمد حمزة أنه عند استصدار فتوى بجواز إقامة الخطبة في المدارس داخل المدينة؛ أن أصبحت الخطبة تقام في بعض الأحيان

كأداة بسيطة مستخدمة ضمن العديد من الاختراعات لهذا العلامة.

ومن هنا يمكن الاستدلال بناءً على المعلومات السابقة على وجود أبواق؛ كانت تستخدم في تكبير الصوت لسماع المصلين الخطب داخل المساجد.

(1206)- وجد استخدام البوق في عدد من الاختراعات، وموضح بالرسومات بشكل بديهي وبسيط لتضخيم الصوت مثلما في (شكل 18) حيث يظهر البوق موصولاً بالطائر والعازف لتكبير صوتيهما. فتظهر

شكل 18. آلة تصدر عزف وغناء [28].

والتداخل الصوتي، وعلاقة الصوت من حيث سرعته وكثافته، إلى جانب الدراسة الصوتية لأحرف اللغة ومدى استغراق كل حرف منها زمانياً... إلخ، إلا إن البحث لم يقف على وجود أي قياسات أو معادلات حسابية لدراسة علم الصوت؛ وذلك منطقي لعدم اختراع أجهزة قياسية في ذلك الوقت. كما تم التحقق من تناول بعض المعمارين لجزء من القاعدة

9- الخلاصة

وضح مما سبق عرضه إمام علماء العصور الإسلامية بمعظم مفاهيم علم الصوت من: معنى الصوت والموجات الصوتية وكيفية حدوثها وحركتها، ومدى حساسية الأذن للأصوات، وعملية انعكاس الصوت وحدث الصدى، ونوع الصدى تبعاً للسطح العاكس من ناحية الشكل أو النوع، ومفهوم التردد

School of Oriental and African Studies Stable
/URL: <http://www.jstor.org/stable/615187>,
Accessed: 19/07/2011 12:36

El Khatteb, A. A. and Refat, M. (2006), An Evaluation of the Acoustics of Sultan Hassan Mosque and Madrasa, *First architecture urban planning international conference- Faculty of Engineering – Ain Shams University – Cairo.*

[6] فؤاد، أحمد الباشا (1997)، *أساسيات العلوم المعاصرة في التراث الإسلام، سلسلة العلوم والتكنولوجيا، دار الهداية للنشر، القاهرة.*

<https://archnet.org/library/images/>

[8] ابن خلدون، عبد الرحمن محمد (1954)، *مقدمة العلامة ابن خلدون، المكتبة التجارية الكبرى، القاهرة.*

[9] السخاوي، شمس الدين محمد بن عبد الرحمن (د.ت) *الضوء اللامع لأهل القرن التاسع، مكتبة القدسي، القاهرة.*

[10] Everest, F. Alton (2001). *The Master Handbook of Acoustics*, Fourth Edition, McGraw- Hill Companies. New York.

[11] ابن سينا، أبو الحسين علي بن عبد الله ، *كتاب النجاة* ، <http://www.al-eman.com>

[12] إخوان الصفا (1983) *رسائل إخوان الصفا، تراث العرب – دار بيروت للطباعة والنشر.*

[13] ابن سينا، أبو الحسين علي بن عبد الله: *الفن السادس من الطبيعيات من كتاب الشفاء (علم النفس)* <http://medaad.wordpress.com>

[14] ابن سينا، أبو الحسين علي بن عبد الله (د.ت) *رسالة أسباب حدوث الحرف، تحقيق محمد حسان الطيان يحيى مير علم، مطبوعات مجمع اللغة العربية بدمشق.*

[15] الفارابي، أبو نصر محمد (د.ت)، *الموسيقى*

المعرفية في علم الصوت والمتاحة لديهم في ذلك الوقت. وهو ما أظهر تأثير تلك المفاهيم على أعمالهم المعمارية، ووضح ذلك من خلال تناول بعض الدراسات الصوتيات في العمارة الإسلامية حيث أثبتت استخدام معماريي تلك الفترة بعض المعالجات لتحسين البيئة الصوتية في الفراغات المعمارية المختلفة: كالمساجد والمستشفيات.

شكر وتقدير

أتقدم بالشكر والعرفان لكل من تقدم إليّ بيد العون والمساعدة لإتمام هذا البحث، وأخص بالذكر هنا زملائي: أ.م.د. أحمد علي الخطيب، و م.م. منار محمد، و م. أيمن فريد، والدكتور محمود مرسي – المدرس بكلية التربية الموسيقية – على ملاحظاتهم ومناقشتهم التي ساعدت على اتمام هذا العمل، فلهم جزيل الشكر.

المراجع

[1] Orfali, Wasim (2007). *Room Acoustic and Modern Electro-Acoustic Sound System Design during Constructing and Reconstructing Mosques/ Berlin.*

[2] Sentagi S. Utami (2005). *An Acoustical Analysis Of Domes Coupled to Rooms, with Special Application to the Darussolah Mosque in East JAVA, INDONESIA* /A thesis for the degree of Master of Science, Department of Physics and Astronomy- Brigham Young University August.

[3] Kayili, Mutbul (2005), *Acoustic Solutions in Classic Ottoman Architecture*, FSTC limited, <http://www.fstc.co.uk>

[4] Fehérvári, Géza (1982), A Major Study on Ottoman Architecture in Hungary, *Bulletin of the School of Oriental and African Studies, University of London*, 45(1): 67-73, Published by: Cambridge University Press on behalf of

- [24] البغدادي، صفي الدين عبد المؤمن (1986)، كتاب الأدوار في الموسيقى، تحقيق غطاس عبد الملك خشبة، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة.
- [25] الضالع، محمد صالح (1987) علم الأصوات عند ابن سينا، دار المعرفة الجامعية، جامعة الإسكندرية.
- [26] إسماعيل، محمد حمزة (1992)، العلاقة بين النص التأسيسي والوظيفة والتخطيط المعماري للمدرسة في العصر المملوكي، تاريخ المدارس في مصر الإسلامية، أعدها للنشر عبد العظيم رمضان، سلسلة تاريخ المصريين العدد 51، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة.
- [27] ابن كثير، الحافظ عماد الدين أبي الفداء (1418)، البداية والنهاية (ج14) تحقيق د. عبد الله بن عبد المحسن التركي، مركز البحوث والدراسات العربية والإسلامية بدار هجر للنشر، القاهرة.
- [28] الجزري، أبو العز بن إسماعيل، الجامع بين العلم والعمل النافع في صناعة الحيل، معهد التراث العلمي العربي، حلب، سوريا.
<https://sites.google.com/site/okbiscientifiquesmanuscrits2/home>
- الكبير، تحقيق وشرح غطاس عبد الملك، دار الكاتب العربي للطباعة والنشر - القاهرة.
- [16] ابن سينا، أبو الحسين علي بن عبد الله (2004)، شرح الموسيقى من كتابي (الشفاء والنجاة)، تحقيق غطاس عبد الملك خشبة، المجلس الأعلى للثقافة، القاهرة.
- [17] Michel, Bruneau (1988) *Fundamentals of Acoustics*, Thomas Scelo – London.
- [18] ابن سينا، أبو الحسين علي بن عبد الله، القانون، <http://www.al-eman.com>
- [19] الخطيب، أحمد علي (2003)، الصوتيات المعمارية النظرية والتطبيق، مكتبة الأنجلو، القاهرة.
- [20] ابن جني، أبو الفتح عثمان (1954) سر صناعة الأعراب، تحقيق مصطفى السقا ومحمد الزفراف، ج1، دار إحياء التراث القديم - وزارة المعارف العمومية، القاهرة.
- [21] عمر، أحمد مختار (1997) دراسة الصوت اللغوي، عالم الكتب، القاهرة.
- [22] الجلكي، أسرار الميزان، مخطوطة بدار الكتب المصرية - القاهرة.
- [23] ابن سينا، أبو الحسين علي بن عبد الله (1996)، السماع الطبيعي من كتاب الشفاء، تحقيق د. جعفر آل ياسين، دار المناهل، لبنان.

Sound in the Writings of Scholars of the Islamic Ages

Sabah Sulaiman Yousef

Faculty of Engineering, Ain Shams University, Cairo, Egypt

Abstract. This is analytic reading study about sound science in the middle age from tenth to fifteenth centuries, through looking for the basic knowledge about sound science which mentioned in the books and manuscripts of scientists at that time .To answer the main question, whether there were principles or basic informative knowledge about sound science at that era ? The study revealed that: 1- There were basic informative knowledge of sound science at that time which put by the Islamic era scientist, and 2-Some architects know about that knowledge through their studies and readings. The study present some acoustic researches in Islamic architecture then discuss many points as follows: Historical background, sources of sound science, sound, characteristics of the hearing in the human ear, the characteristics of the audio source, a reflection of the sound, the laws of sound waves and acoustic Devices.

Keyword: Islamic civilization Science, Phonology, Sound Wave, Reflection.