جامعة الأزهر
كلية اللغة العربية بأسيوط
المجلة العلمية

التحليل الطيفي للأصوات العربية وتأثيره في الدراسة الصوتية

إعداد

د. عبير بني مصطفى

أستاذ مشارك قسم اللغة العربية جامعة جرش الأردن

(العدد الثالث والأربعون)

(الإصدار الأول-فبراير)

(الجزء الثالث (١٤٤٥هـ /٢٠٢٤م)

الترقيم الدولي للمجلة (ISSN) 2536- 9083
رقم الإيداع بدار الكتب المصرية : ٢٠٢٤/٦٢٧١م

التحليل الطيفي للأصوات العربية وتأثيره في الدراسة الصوتية

عبير بني مصطفى
قسم اللغة العربية، جامعة جرش، الأردن.
البريد الإلكتروني: abeer.banymustafa@yahoo.com

الملخص

لاقت الدراسة الصوتية في العصر الحديث اهتماماً كبيراً، وتمكن علماء اللغة المحدثون من بذل جهود كبيرة استناداً على ما أسسه القدماء في مجال دراسة أصوات اللغة ومخارجها وصفاتها، وعلى ما توفر لهم من تقنيات وأجهزة علمية وبرامج حاسوبية متطورة مكنتهم من دراسة الأصوات دراسة علمية مخبرية. وأتاحت لهم أن يبنوا دراساتهم على الملاحظة والتجريب. وقد أصبح بإمكان هذه البرامج أن تحلل الصوت المنطوق بوصفه ظاهرة مادية طبيعية تحليلاً فيزيائياً، وتمثله تمثيلاً مرئياً عن طريق تحويله إلى صور طيفية تبين بوضوح خصائصه الفيزيائية بما يضمن لهم نتائج أكثر دقة وفي وقت أقل. وتهدف هذه الورقة البحثية إلى تسليط الضوء على تأثير التحليل الطيفي للأصوات في الكشف عن الحقائق المتعلقة بطبيعة الأصوات، وصفاتها وظواهرها المختلفة، بما يقدمه من تحليل لأبعادها الفيزيائية التي تتحدد على أساسها السمات التمييزية لكل صوت. وتضمنت الدراسة مجموعة من المباحث تحدثت عن الجهود المبذولة في دراسة الأصوات قديماً وحديثاً وأهم الأجهزة الفيزيائية للصوت، ودورها في كشف الحقائق والأسرار المتعلقة بدراسته. وانتهت إلى جملة من النتائج أهمها: أن للتحليل الطيفي تأثيراً كبيراً في معرفة طبيعة الصوت وأنواعه وخصائصه وظواهره المختلفة، ودورًا في حسم الخلاف في المسائل التي اختلف فيها القدماء والمحدثون فيما يتعلق بتوصيف الأصوات.

الكلمات المفتاحية : التحليل الطيفي للكلام، اللسانيات التطبيقية، المختبرات الصوتية، البرامج الحاسوبية، الأبعاد الفيزيائية.

Spectral Analysis of Arabic Sounds and its Impact on Phonetic Study

Abeer Bani Mustafa
Department of Arabic Language, Jerash University, Jordan.
Email: abeer.banymustafa@yahoo.com

Abstract:

In the modern era, the study of phonetics has received great attention, and modern linguists have been able to make great efforts based on what the ancients established in the field of studying the sounds of language, their sources and characteristics, and on the techniques, scientific devices and advanced computer programs available to them that enabled them to study sounds in a scientific laboratory study. It allowed them to base their studies on observation and experimentation. These programs have become able to physically analyze spoken sound as a natural physical phenomenon and represent it visually by converting it into spectral images that clearly show its physical characteristics, ensuring more accurate results in less time. This research paper aims to shed light on the impact of spectral analysis of sounds in revealing facts related to the nature of sounds, their characteristics, and their various phenomena, through the analysis it provides of their physical dimensions, on the basis of which the discriminating features of each sound are determined.The study included a group of topics that talked about the efforts made in studying sounds, ancient and modern, and the most important physical devices of sound and their role in revealing the facts and secrets related to its study. It concluded with a number of results, the most important of which is that spectral analysis has a major impact on knowing the nature of sound, its types, characteristics and various phenomena, and a role in resolving disputes in issues in which the ancients and moderns differed regarding the description of sounds.tionships.

Keywords: *Speech Spectral Analysis, Applied Linguistics, Audio Laboratories, Computer programsPhysical dimensions.*

مقدمة

إشكالية الدراسة:

تسعى هذه الدراسة إلى الإجابة عن الأسئلة التالية:

-السؤال الأول: ما هي أبرز الأجهزة والبرامج الحاسوبية التي تعمل على تحليل الصوت؟

-السؤال الثاني: ما هي المعايير والأبعاد الفيزيائية التي تحدد سمات الصوت؟

-السؤال الثالث: ما هي الإضافات التي تقدمها برامج التحليل الطيفي للدراسة الصوتية؟

أهمية الدراسة:

هذه الدراسة محاولة للفت النظر إلى قيمة الدراسات الصوتية الحاسوبية، وإظهار أهمية التحليل الطيفي بشكل خاص في الوقوف على حقيقة الأصوات وطبيعتها وخصائصها في ظل قلة البحوث والدراسات العربية التي تحلل الأصوات تحليلاً فيزيائياً، وهو الأمر الذي يمكن له أن ينهض بالدراسات الصوتية العربية، ويجعلها مواكبة للتطور العالمي.

منهج الدراسة:

تعتمد هذه الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، وتستعين بعرض أمثلة من التصوير الطيفي لبعض الأصوات من برنامجين أحدهما قديم وهو ما يعرف به (CSL)، والآخر: حديث وهو برنامج برات، بهدف بيان الفرق بين ما كانت عليه الأجهزة قديمًا وما آلت إليه الآن بعد التطور العلمي التكنولوجي الهائل.

الدراسات السابقة:

إن الدراسات العلمية الفيزيائية للأصوات ما زالت قليلة في الوطن العربي، ولا تزال بحاجة ماسة إلى الدراسة المتعمقة، ومع ذلك فإن هناك بعض الدراسات الجادة في هذا المجال يمكن لأي باحث في دراسة الأصوات دراسة فيزيائية أن يعود إليها تذكر منها:

• كتاب الأصوات اللغوية رؤية عضوية ونطقية وفيزيائية، لسمير شريف ستيتية: تناول الكتاب مسائل علم الأصوات بالنظر في جوانبها النطقية والوظيفية والفيزيائية، وبحث ميكانيكية النطق وأعضاء النطق والوضوح السمعي والحركات والمقاطع وقدم الكثير من التحليلات الفيزيائية في مباحث الكتاب.

• كتاب مدخل إلى التصوير الطيفي للكلام، لآرنست بولجرام من ترجمة وتقديم سعد مصلوح: تحدث فيه عن الفيزياء الأكوستيكية، وأصوات الكلام وذبذباتها وحزمها الترددية، وأجهزة المطياف والتكوين الطيفي للصوامت والصوائت.

• كتاب الصوتيات العربية لمنصور بن محمد الغامدي: تحدث فيه عن نشأة الصوتيات وفروعها ومجالاتها النطقية والفيزيائية من منظور أصواتي معاصر، وأجهزة علماء الصوت بمختلف أنواعها ودور كل منها في تحليل الصوت.

• علم أصوات الكلام الأكوستيكي لبيتر ليد، فوجد من ترجمة جلال شمس الدين ومراجعة سعد مصلوح: تناول فيه الصوت وخصائصه الفيزيائية وإنتاج الكلام وتحليل الموجات الصوتية.

• التشكيل الصوتي في اللغة العربية لسلمان العاني من ترجمة ياسر الملاح ومحمد محمود غالي: أول كتاب معاصر للغة العربية عن الصوتيات الفيزيائية والسمعية، يدرس النظام الصوتي للكلمات العربية الصوامت والصوائت بأنواعها، ويحللها تحليلًا

فيزيائياً معتمدًا على التصوير بالإسبكتر وجراف وأشعة إكس الضوئية.

ونذكر من الرسائل الجامعية: فونولوجيا القرآن لأحمد راغب أحمد وهي رسالة ماجستير، جامعة عين شمس، ٢٠١٥م: تناول فيها تحليل الصوت القرآني بصوت الشيخ محمود الحصري، وحلله بأحدث آليات المعالجة الصوتية الحاسوبية من أجل الوصول إلى توصيف علمي للصوت القرآني.

وعلم الأصوات الفيزيائي دراسة تطبيقية في سورة يس في ضوء أحكام التجويد، رسالة ماجستير، القدس، فلسطين: درس فيها الأبعاد المادية للأصوات المتمثلة بالذبذبات والموجات الصوتية باستعمال عدد من البرامج الحاسوبية.

التمهيد:

تعد دراسة الأصوات من أهم عناصر دراسة النظام اللغوي بوصفها الأساس الذي تعتمد عليه والخطوة الأولى في مراحل بناء أية لغة. وهي بمثابة اللبنات الأساسية التي تتكون منها اللغة. فالدراسة الصوتية تلعب دوراً بارزاً في تحديد الوحدات الصرفية، وبيان قيمتها؛ لأن مباحث الصرف مبنية على ما يقرره علم الأصوات من حقائق. فالتغيرات التي تطرأ على أبنية الكلمة لا يمكن دراستها دراسة دقيقة وتفسيرها إلا على أساس صوتي، ويظهر ذلك بوضوح في الظواهر التي تعتمد على تفسير العلل الصوتية التي تكمن وراءها وتؤثر فيها كتفسير مسائل الإبدال والإعلال والإمالة والإدغام وغيرها.

كما تعد وسيلة مهمة من وسائل فهم البنية التركيبية للجمل؛ لأن مادة النحو تتألف من عناصر صوتية وعناصر صرفية مما يعني ضرورة ربطه ربطاً وثيقاً بالأصوات والصرف، وقديماً فهم العلماء أهمية الأصوات في دراسة النحو، فجعلوها قسمًا مما اشتملت عليه كتبهم النحوية، فكانت وسيلة إلى دراسة البنية التركيبية للجمل، وتحديد أنماطها وعناصرها.

كما أن لها صلة قوية بدراسة الدلالة، فالمعنى هو الحصيلة النهائية لكل منطوق وما ينتظمه من عناصر، وتحديده يتوقف على الطريقة الصوتية الأدائية التي تناسب بناءه ومقامه كالنبر والتنغيم والفواصل وهي تلعب دوراً في التلوين الموسيقي للكلام، وتلقي الضوء على كيفية نطق هذه المفردات مما يسهل استيعابها، وإدراك مجالاتها الدلالية [١]. وبناءً على ذلك كله يمكننا القول إن مباحث الصرف والنحو والدلالة مبنية كلها على أساس ما يقرره علم الأصوات وما يرسمه من حدود ولا بد لدراستها أولاً أن نعود للحقائق التي يقررها الدرس الصوتي.

المطلب الأول: جهود العلماء العرب القدماء في الدراسة الصوتية:

لقد كان لعلماء العربية المتقدمين عناية واضحة ومتميزة في الدرس اللغوي والصوتي أسهمت في إرساء الدعائم الأولى للقواعد اللغوية؛ لأنهم يعدون الدراسة الصوتية أساساً مهمًا يسهم في ضبط قواعد النطق، وتصحيح القراءة، وضبط النص القرآني وتلاوته تلاوة صحيحة، ومنع تسرب اللحن إليه. ولذلك فإنهم قدموا وصفاً تفصيلياً للأصوات وبينوا صفاتها ومخارجها وتآلفها في أبنية الكلام، وقدموا وصفًا دقيقًا لقواعدها النحوية والصرفية ومخارج أصواتها وطرق إخراجها وتأثير الأصوات على بعضها. فتوصلوا إلى نتائج مهمة ودقيقة إلى حد بعيد اعتماداً على ملاحظاتهم. الذاتية وتذوقهم الشخصي للحروف.

وقد كان الخليل من أوائل من كتب في هذا المجال في معجمه العين الذي تضمن آراءه الصوتية في الأصوات ومخارجها وصفاتها معتمدًا على حدسه وإحساسه المرهف. ثم تبعه سيبويه وحذا حذوه ووضح آراء أستاذه في مخارج الأصوات وصفاتها، وفصل الحديث في عدد من الظواهر الصوتية كالإعلال والإبدال والإدغام وأحكام الهمزة من تحقيق وتسهيل وغير ذلك[٢]. وتلا سيبويه عدد من العلماء الذين تأثروا به منهم المبرد وابن السراج وغيرهم مما كانت لهم إسهامات في هذا المجال. وقد بقي ما جاء به سيبويه مثالاً يحتذى عند جميع اللغويين ممن جاءوا بعده وساروا على دربه[٣]. حتى جاء ابن جني وأفرد للمباحث الصوتية مؤلفاً مستقلاً ونظر إليها على أنها علم قائم بذاته في كتابه سر صناعة الإعراب حيث بسط فيه الكلام على حروف العربية ومخارجها وصفاتها وأحوالها وما يعرض لها من تغيرات كالإعلال والإبدال والإدغام والحذف وغيرها[٤].

ومن البحوث والدراسات المهمة في هذا المجال ما جاء به علماء الطب والفلسفة كالفارابي وابن سينا، فالفارابي كشف في كتابه الموسيقى الكبير عن كيفية

حدوث الصوت وكيفية صدور الكلام اعتنى بدرجة الصوت وحدته وثقله، وكشف عن كيفية انتقال الموجات الصوتية عبر الهواء حتى تصل إلى أذن السامع، وأشار إلى تجويفات أعضاء النطق وإلى حقل السمع الذي تسمعه الأذن. كما تحدث عن الحركات والمقاطع بوصفها وحدة صوتية تتكون من صحيح وحركة(٥).

أما ابن سينا فقد ألف رسالته في أسباب حدوث الحروف ووصف فيها بنظرة ثاقبة جهاز النطق عند الإنسان وصفاً مختلفاً معتمدًا على التشريح، فتحدث عن طبيعة الصوت وأسبابه ووظائفه ووصف عضلات اللسان وأجزاء الحنجرة وغضاريفها، ورسم لها صورة تشريحية واضحة لا تختلف كثيراً عما جاء به المحدثون. وقد جاء بمصطلحات جديدة لم تكن معروفة سابقاً. ويعتبر جهد ابن سينا في هذا المجال أساساً مهماً في علم الأصوات الفيزيائي عند العرب(٦).

ولا ننسى دور علماء التجويد وإسهاماتهم في هذا المجال فقد تضمنت كتبهم دراسة شاملة للأصوات اللغوية ومخارجها وصفاتها وتقسيماتها المختلفة، وقد أكملوا ما وصل إليه علماء اللغة العرب قديماً.

وبالرغم من هذا الجهد الكبير الذي قام به علماء العربية في توصيف الأصوات وبيان من مخارجها وخصائصها في ضوء ما أتيح لهم من إمكانات بسيطة إلا أن اهتمامهم في هذا الجانب كان في الغالب منصباً على دراسة الأصوات من الجانب النطقي؛ لأنهم اعتمدوا في ذلك على تذوقهم الشخصي للحروف، ولم تكن الأجهزة العلمية متاحة لهم.

المطلب الثاني: جهود العلماء العرب المحدثين في الدراسة الصوتية:

وفي العصر الحديث اتسعت مجالات الدراسة في اللغة بشكل عام وفي الأصوات بشكل خاص، وتنوعت مفاهيمها ومصطلحاتها، وظهرت مناهج جديدة اقتضت إعادة علماء اللغة تصنيف أصوات العربية اعتماداً على أسس جديدة. وأخذ علماء اللغة على عاتقهم محاولة بعث التراث العربي القديم، وربطه بالدرس الصوتي الحديث الذي تميز بالدقة العلمية نتيجة ظهور الثورة التكنولوجية الحديثة حيث تم اكتشاف الأجهزة العلمية والبرامج الحاسوبية، فتمكن العلماء من دراسة الأصوات دراسة علمية مخبرية، فأصبح توصيف الظواهر الصوتية في العربية اعتمادًا على الأجهزة الحديثة أمراً ممكناً، وتهيأت للباحثين فرص لم تتهيأ للقدماء، ووضعت بين أيديهم وسائل بحثية لم تكن معروفة من قبل، فأعادوا توصيف الأصوات وكشفوا عن خصائصها الفيزيائية معتمدين على الأجهزة التي تسجل ما لا تستطيع العين أن تراه. وقد انبثق عن علم الأصوات اعتمادًا على هذه الامكانيات الجديدة فروع كثيرة منها علم الأصوات التشريحي والفيزيائي والسمعي وعلم بصمة الصوت وعلم الأصوات العلاجي بالإضافة إلى علم الأصوات الصرفي والنحوي والدلالي(٧).

وقد تبنى علماء الأصوات المنهج التجريبي الذي يعتمد على الملاحظة والقياس. فالصوت في أساسه طاقة وأثر سمعي تحدثه تموجات مرتبطة فيزيائياً بوجود جسم مهتز في وسط قابل لنقل الاهتزازات التي تؤدي إلى تغيير في ضغط الهواء فيتولد عن ذلك سلسلة من التضاغطات والتخلخلات في الوسط الناقل، فهو إذن عملية فيزيائية ناتجة عن سلسلة من التغيرات في الضغط في الوسط بين المرسل والمستقبل من شأنها أن تحدث اضطراباً في الهواء، فالمرسل عندما يصدر الصوت، فإن الصوت الخارج منه يقوم بالضغط على الهواء في شكل موجات متلاحقة تصطدم في أذن السامع. وتلعب أعضاء النطق المختلفة دوراً في إكساب هذا الصوت صفاته التمييزية التي تمثله وتميزه عن باقي الأصوات الأخرى.

وقد تم اختراع العديد من الأجهزة التي تخدم فروع الصوتيات الفيزيائية والسمعية التي تسجل موجات الصوت وتحللها، فأصبح بالإمكان وصف أي صوت وصفاً فيزيائياً عن طريق تحديد خصائصه الفيزيائية مثل درجته وارتفاعه وتردده وسعة موجاته ونمطها. فهذه الأجهزة يمكن أن تكشف لنا عن طريق الصور والخطوط البيانية الفرق بين الأصوات، وتقيس لنا طول الصوت بأجزاء من الثانية، وتبين لنا اختلاف الأصوات وتفاوتها في طاقتها وشدتها، الأمر الذي أدى إلى أن تكون النتائج التي يخرج بها الباحثون على مستوى من الدقة والثبات والموضوعية إلى حد بعيد(٨).

المطلب الثالث: تطور الأجهزة الصوتية والبرامج الحاسوبية التي تستخدم في تحليل الأصوات:

تعود بداية استخدام الأجهزة المعملية إلى نهاية القرن الثامن عشر وأوائل القرن التاسع عشر بصورة مبسطة وفردية، ولكنها تطورت تطوراً كبيراً بعد المنتصف الثاني من القرن التاسع عشر حيث ظهرت أنواع عديدة من الأجهزة. وأدى التطور التكنولوجي الهائل إلى اختراع أجهزة مخبرية صوتية في غاية الدقة، فوجدت أجهزة التصوير بالأشعة السينية التي ترصد حركات النطق، والرسم المحوسب، والموجات فوق المغناطيسية، والتصوير بالرنين المغناطيسي(٩). وظل هذا التطور يواكب التقدم الكبير في الحوسبة، فأنشأت برامج حاسوبية قادرة على الكشف عن الحقائق الفيزيائية للصوت اللغوي، مما أدى إلى معرفة أمور كثيرة كانت غير معروفة سابقاً منها قياس مقدار الذبذبات وترددات الصوت وزمنه ومدة الجهر وبدؤه وتغيره وتأثره بما يجاوره من أصوات. وكيفية توزيع الطاقة الصوتية في مراحل إنتاج الصوت، وغير ذلك مما يدخل في باب خصائص الصوت التمييزية وأصبحت هذه الخصائص من أساسيات التوصيف الصوتي الحديث للأصوات في سياقاتها المختلفة(١٠).

ويمكن تقسيم التطور في صناعة هذه الأجهزة إلى ثلاث مراحل: الأولى من (١٩٠١- ١٩٤٥). وكانت فيها تكنولوجيا تحليل الكلام بدائية تتسم بالبساطة حيث ظهر جهاز راسم الحركة. واتسمت هذه المرحلة بالضعف في معالجة الإشارات الصوتية حيث لم يمكن تحليل الشكل الموجي للإشارة الصوتية إلى مكوناته الذبذبية إلا في أواخر هذه المرحلة عندما ظهر جهاز راسم الذبذبة (Oscillograph) وكان يتم بطريقة يدوية مجهدة.

والمرحلة الثانية من (١٩٤٥ – حتى أوائل السبعينات) وبدأ فيها ظهور جهاز التحليل الطيفي للصوت (Spectrograph)؛ حيث انطلقت الأبحاث إلى آفاق أوسع

ووضعت في هذه المرحلة أسس النظرية الصوتية الأكوستيكية عن إنتاج الكلام وتوجيه البحث في علم الأصوات التجريبي، والمرحلة الثالثة (من أوائل السبعينات حتى الآن) وظهر فيها الحاسب الآلي القادر على القيام بالعمليات اللازمة لمعالجة الإشارة الصوتية، وفتح الطريق أمام البحث في النماذج الرياضية والخوارزميات التي تتيح معالجة أكثر تقدماً مما سبق(١١).

وقد عرفت الصوتيات التجريبية الكثير من الأجهزة التي تخدم فروع علم الأصوات النطقية والفيزيائية والسمعية، وقد مكنت العلماء من متابعة حركات الجهاز النطقي والهواء المنساب داخله، ومن تسجيل موجات الصوت اللغوية وتحليلها، ومن معرفة الكيفية التي تتم بها عمليتا السمع والإدراك. ومن أشهر هذه الأجهزة التي لها علاقة بالصوتيات النطقية:

منظار الحنجرة (Laryngoscope): وهو عبارة عن أنبوب مرتبط بمصدر إضاءة ومتصل بآلة تصوير يقوم بتمرير الأشعة الضوئية عبر الحلق والحنجرة، ويتم تسجيل الصور على شريط فيديو أو التقاط صور ثابتة للحلق والحنجرة أثناء الكلام. ويفيدنا هذا الجهاز في دراسة مخارج بعض الأصوات وخاصة الحلقية والحنجرية. والأشعة السينية (XRay): وتستخدم في تصوير أعضاء الجهاز الصوتي أثناء النطق وتستقبل آلة تصوير الأشعة النافذة من الجهاز الصوتي؛ ليتم التقاط صور ثابتة أو تسجيلها على شريط فيديو. ورسام الحنك الإلكتروني (Electropabtorph): ويقوم برسم أجزاء الحنك التي يلامسها اللسان أثناء الكلام عن طريق تثبيت حنك صناعي في الفم ملاصقاً للحنك الطبيعي وموصلًا بحاسوب. ويفيدنا في دراسة مخارج الأصوات، وفي حل مشاكل النطق عند الإنسان(١٢).

أما الأجهزة التي لها علاقة بالصوتيات الأكوستيكية وهي الأكثر أهمية فمن الأمثلة عليها: جهاز عارض الذبدبات (Oscilloscope): وهو جهاز شبيه بجهاز

التلفاز يتلقى الإشارة من ميكرفون أمام فم المتكلم، ويقوم بتحويل الطاقة الصوتية إلى طاقة كهربائية تعرض مع عامل الزمن على الشاشة، فتظهر شدة الصوت وترددات وزمن الذبذبات.

ومنها المطياف أو راسم الأطياف Spectrograph))، ويعد من أفضل الأجهزة التي خدمت الصوتيات الأكوستيكية إن لم يكن أفضلها على الإطلاق؛ وذلك لأنه يقدم للباحث ثلاثة أبعاد للموجة المرسومة هي التردد والشدة والزمن، ولذلك فإن معظم الدراسات الصوتية الحديثة تعتمد على المطياف بشكل أو بآخر. وقد مرّ هذا الجهاز بعدة مراحل أو أجيال من التطور حتى ظهر المطياف الحاسوبي عام ١٩٩٠ (Computerspeech Lab) ويتكون من حاسوب شخصي مع بعض الإضافات في البرامج والأدوات. ويقوم بعرض موجات الصوت بأبعاده المذكورة عن طريق صورة مرئية تكشف عن خصائص الكلمة المنطوقة كقياس التردد وشدة الصوت والزمن الذي يستغرقه الصوت. وتظهر هذه التحاليل على شاشة الحاسب الآلي في صورة أشكال ومنحنيات وجداول(١٣).

بعد ذلك توصل خبراء الإلكترونيات والحواسيب إلى تطوير برامج حاسوبية مهمة تعمل عمل كل هذه الأجهزة، وتعطي نتائج دقيقة ذات جودة عالية، فقد تم اختصار أجهزة متعددة في جهاز أو برنامج واحد مما ساعد على تخفيض تكاليف إنشاء المعامل الصوتية، والحصول على دقة العرض والقياس مع سهولة مقارنة القياسات المختلفة. وتعمل هذه البرامج على إدخال الصوت وتحليله وتحويله إلى صورة مرئية ذات بعدين أحدهما عمودي يمثل تردد الصوت، والآخر أفقي يمثل زمن نطق الصوت. ثم تظهر شدة الصوت في درجات متفاوتة من السواد بناءً على مصدر الصوت. ومن أشهر هذه البرامج:

- برنامج برات (praat): ويعني بالهولندية تكلم، كتبه ويشرف عليه باحثان هولنديان من معهد علوم الصوتيات بجامعة أمستردام، ويمكن من خلاله عزل الصوت وإجراء تحليل طيفي للملفات الصوتية وتركيب الكلام وتجميع أجزاء المنطوق وإنشاء صور عالية الجودة. ويستعمل لتحليل الموجات الصوتية.

ويمتاز بالسهولة في الاستعمال، ويستطيع هذا البرنامج قراءة الملفات الصوتية وحفظها، ويقوم بدراسة الخصائص الفيزيائية للصوت عن طريق معاينة الموجة الصوتية والرسم الطيفي فيمكن الوقوف على خصائصها عن طريق أدوات التحكم المرفقة فيه.

وقد تم تطوير برنامج برات عدة مرات وصدر منه (برات ٦٤- بت) وهو برنامج علمي لتحليل الخطاب والإشارات الصوتية.

- برنامج (Audacity beta): ويستخدم في إنشاء قواعد البيانات الصوتية ويقوم بعرض الصوت على شكل موجة مرئية ثم يقابلها بالرسم الطيفي، ويتميز هذا البرنامج بآلية التحكم بالصوت من عدة جوانب مثل عكس الصوت وقلبه، وقطع الصمت في ثنايا الصوت، وحذف الضجيج، وتحديد الصوت من بدايته إلى نهايته أو أي نقطة يتطلب دراستها.

- برنامج (Speech Filing System) STS: ويستخدم في مجال تجهيز قواعد البيانات يعد من أفضل البرامج الصوتية، فهو يعطي صورة دقيقة لمستويات الصوت من حيث الشدة والقوة وشكل الموجة والرسم الطيفي والبياني للتردد، وقد أظهر كفاءة في مجال تحديد بدايات المقاطع الصوتية ونهاياتها تحديداً دقيقاً. وصدر منه حديثًا برنامج مزود بنظام الكتابة الصوتية الدولية[١٤].

وهذه ليست كل البرامج الحاسوبية فهناك برامج أخرى غيرها وهي متشابهة في طريقة عملها.

وتقوم فكرة التحليل الطيفي في هذه البرامج جميعها على أن الصوت يتكون من مجموعة ترددات مختلفة، وأن توزيع الطاقة الصوتية على هذه الترددات المختلفة عند لحظة من الزمن يختلف بحسب الصوت المنطوق في تلك اللحظة. فالرسم الطيفي تمثيل مرئي لتوزيع الطاقة الصوتية على الترددات المختلفة في زمن النطق، وتمثل الطاقة الصوتية في الكلمة المختارة بمناطق سوداء تتناسب شدة سوادها مع كمية الطاقة المبذولة، فالمناطق شديدة السواد تدل على وجود طاقة صوتية عالية عند تردد ما في زمن ما[١٥].

والمناطق الأقل سواداً تدل على وجود طاقة صوتية منخفضة، والفراغات تدل على عدم وجود طاقة أو وجود طاقة صوتية منخفضة جداً. وفي الدراسات الصوتية استخدمت في الصورة الطيفية تدرجات الألوان من الأبيض إلى الأسود ومع تقدم البحوث الصوتية أمكن العلماء أن يزيدوا في تدرجات الألوان من الأبيض إلى الأحمر. والصورة الملونة تساعد الباحثين أكثر على التعرف على أشياء لم تكن واضحة تماماً في الأبيض والأسود منها وضوح المناطق ذات الطاقة الصوتية المنخفضة جداً، ومعرفة المواضع التي تميز بها مقطع من الكلمة عن غيره من المقاطع المجاورة.

المطلب الرابع: الأبعاد الفيزيائية التي تحدد صفات الأصوات:

وتشترك هذه البرامج جميعها أيضًا في أنها تبين أهم المعايير التي تلعب دوراً في تحديد خصائص الصوت الفيزيائية وملامحه التمييزية التي يختلف فيها عن غيره. ومن أهم هذه الخصائص:

- التردد (Frequency): ويعد من أهم العناصر التي تؤدي إلى إدراك الأصوات وتمييزها عن بعضها، ويعرف بأنه عدد الدورات الكاملة في الثانية الواحدة أو عدد الذبذبات الصوتية التي ينجزها جزيء الهواء بسبب اهتزاز مصدر الصوت في وحدة الزمن. ويقاس التردد بعدد الذبذبات في الثانية. ويمثل الهيرتز وحدة قياس التردد المتفق عليها عالميا(١٦). ولا تنتج عن الجسم ذبذبة واحدة أو تردد واحد بل سلسلة من الترددات تسمى التوافقيات (Formants)؛ وذلك لأنه حين يهتز الجسم فإنه يتذبذب كل جزء منه في الوقت نفسه وبسرعة تتناسب مع العلاقة بين الجزء المهتز والجسم ككل. وهذه التوافقيات تشكل مجموع الترددات التي تحكم الشكل النوعي للصوت وتميزه عن غيره، وتتوزع عليها الطاقة الناتجة عن الجسم، وقد أعطى العلماء كل واحدة منها رقماً، فالتردد الأول يرمز له بـ (F1) والثاني بـ (F2) والثالث بـ (F3) وهكذا. ويتم ترقيمها من الأسفل إلى الأعلى في الرسم الطيفي، ولا يتم توزيع الطاقة عليها بالتساوي بل يحظى التردد الأول بالقدر الأكبر منها. وتظهر هذه التوافقيات في الرسم الطيفي على شكل خطوط من السواد تتدرج من أسفل الرسم موازية لخط الزمن إلى أعلاه. ويكون التردد الأول هو الأقرب لقاعدة الرسم. وكلما كانت هذه الخطوط أشد سواداً فإنها مؤشر على زيادة في مستوى الطاقة المبذولة(١٧).

- الضغط: وهو اضطراب في الهواء يولده الجسم المهتز الذي يصدر الصوت. ويسمى عدد مرات التغير في الضغط في الثانية الواحدة بذبذبة الصوت. ويقاس

الضغط الصوتي بالديسبل (db) [١٨].

- شدة الصوت: وهي كمية الطاقة التي تسبب حدوث الذبذبة، وهي مسؤولة عن قوة الصوت أو ضعفة بعد حدوثه، وتقاس بالديسبل (db). وتتناسب شدة الصوت تناسبًا طرديًا مع ارتفاع الضغط، ومع اتساع الموجة فكلما كان الضغط أكبر تكون شدة الصوت وطاقته أعلى، وكلما كانت الموجة متسعة أكثر يكون الصوت أقوى أيضاً[١٩].

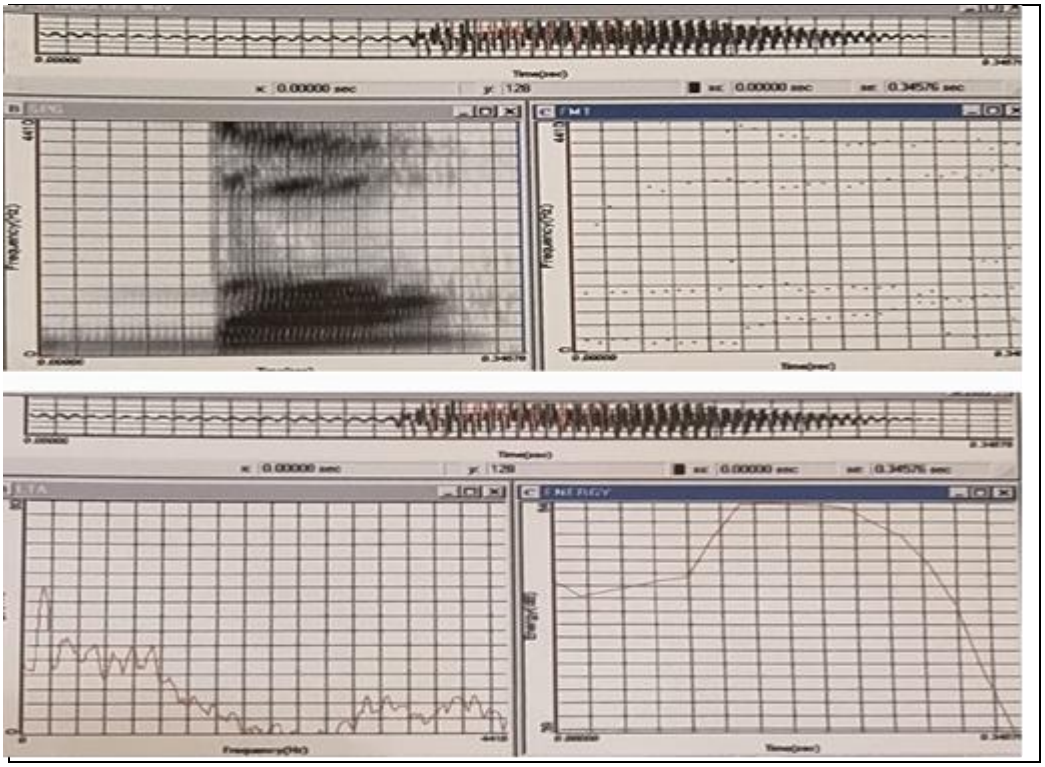
- سعة الموجة (Amplitude): ويقصد بها المسافة الفاصلة بين وضع التوازن وأبعد نقطة يصل إليها الصوت في حركة الجسم وهو في حالة اهتزاز. وكلما زادت سعة الموجة زاد مستوى طاقة الصوت[٢٠].

- الزمن (Duration): وهو مدة النطق بالصوت التي تستغرقها ترددات موجات الصوت. وهو يمثل المحور الأفقي في صورة التحليل الطيفي. وتحديد الزمن عنصر مهم في عملية التحليل الصوتي، ومعرفته مهمة في تحديد طبيعة الأصوات وعملية الانتقال من صوت إلى صوت وفي أداء اللغة وقوالبها التعبيرية[٢١].

ويمكن توضيح هذه المعايير الفيزيائية من خلال التحاليل الطيفية الآتية، حيث يمثل (الشكل رقم ١) المثبت أدناه الصورة الطيفية لصوت الضاد متبوعًا بالفتحة مأخوذة من جهاز المطياف (Computer speech lab) الذي تم اختراعه عام ١٩٩٠. وتشمل هذه الرسومات الصورة الموجية (في أعلى الرسم) التي تبين مدى سعة الموجة وانتظامها حيث تبدو في الصورة مركبة غير منتظمة نتيجة طبيعة الصوت الانفجاري المتبوع بصائت. ثم الصورة الطيفية للصوت التي نلاحظ فيها تراكم الحزم الصوتية التي تمثل التوافقيات التي تكشف مستوى التردد للصوت. وتظهر هذه السلسلة من الترددات (F.1, F.2, F.3) على شكل خطوط من السواد بعضها فوق بعض، ويشير الفراغ في بداية النطق بالصوت إلى انعدام أو قلة النشاط الصوتي

الناتج عن الانسداد الكلي المرافق للصوت الانفجاري (ض) يتبعه نشاط ملحوظ للحزم الصوتية ناتج عن تدفق الهواء بعد توقفه لفترة من الزمن. ويمكن لمثل هذه الصورة أن تحسم الخلاف القائم بين القدماء والمحدثين في مسألة شدة الصوت أو رخاوته حيث اعتبره القدماء رخواً بينما تظهره الصور عكس ذلك.

وفي أسفل الرسم يظهر المنحى الخطي لمستوى طاقة الصوت وإلى جانبه الرسم الذبذبي الذي يبين مقدار ضغط الصوت. أما زمن نطق الصوت فيظهر في أسفل الرسم في شكل أفقي بينما يظهر الخط العمودي مستوى تردد الصوت.



الشكل رقم (١)

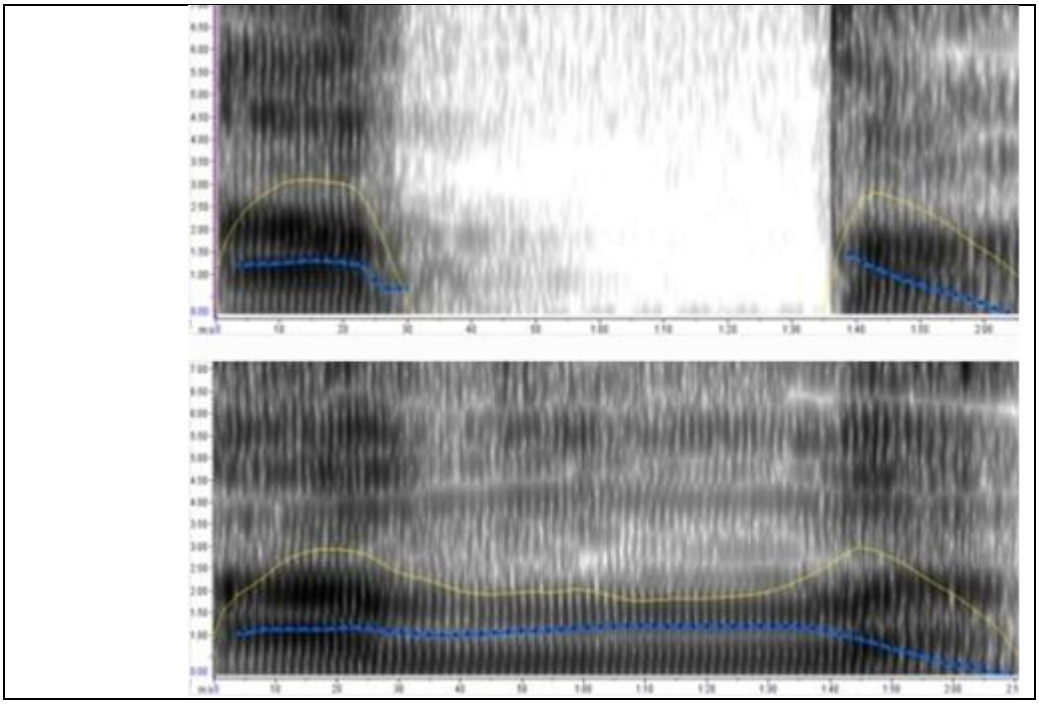
ويظهر الشكل رقم (٢) صورتين طيفيتين توضحان الفرق بين صوتين منعزلين

أحدهما مهموس انفجاري هو الطاء والثاني مجهور احتكاكي وهو الظاء.

وتبين الصورة الأولى في الشكل التمثيل الطيفي لصوت الطاء؛ حيث يمكن الاستدلال على انفجارية الصوت من خلال الفراغ الظاهر في وسط الصورة الذي يظهر قلة الذبذبات الصوتية وانعدام الطاقة والنشاط الصوتي الناتج عن الانسداد التام لمجرى الهواء لفترة من الزمن، كما يمكن الاستدلال على أن الصوت صوت مهموس من خلال انقطاع شريط الجهر الذي يفترض ظهوره باللون الأزرق.

أما الصورة الثانية فتمثل الرسم الطيفي لصوت الظاء؛ حيث تنتشر الذبذبات والموجات الصوتية بشكل غير منتظم من أول الرسم إلى آخره. مما يدل على أنه صوت احتكاكي لا يحدث معه توقف لمجرى الهواء الذي يحدث احتكاكاً ملحوظاً عند النطق بالصوت. ويظهر فيه شريط الجهر باللون الأزرق مما يثبت بأنه صوت مجهور.

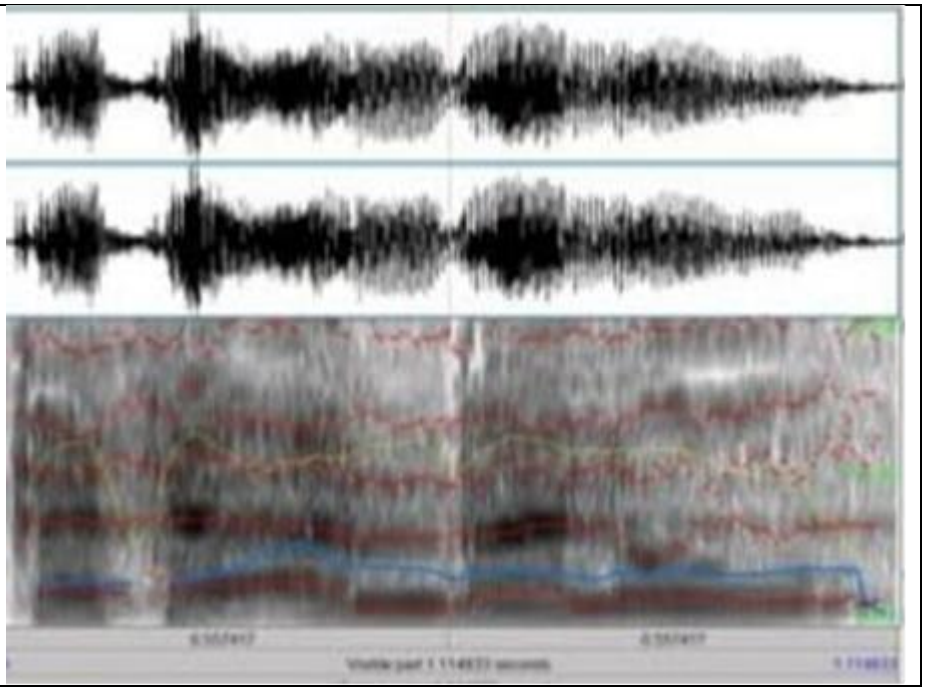
وتختلف هذه الصور عن سابقتها في أنها أكثر اختصاراً ودقة، وبإمكانها أن تبين الخصائص الفيزيائية للصوت من خلال استخدام الألوان؛ حيث يظهر منحى الطاقة وشدة الصوت باللون الأصفر وشريط الجهر باللون الأزرق.



الشكل رقم (٢)

أما الشكل الأخير رقم (٣) فيبين التمثيل النطقي لكلمة كاملة هي كلمة (تتأمل) باستخدام برنامج برات ويشير اللون الأسود في الصورة إلى كثافة الطيف والموجات، والأحمر إلى مستوى التردد لهذه الحزم، والأخضر إلى مستوى طاقة وشدة الصورة بينما يشير الأزرق إلى التنغيم والميل والانحراف في الصوت.

ومن خلال هذا الرسم يمكننا دراسة الكلمة كاملة أو عزل أي صوت متفرداً ودراسة تأثير الصوت السابق أو اللاحق عليه.



الشكل رقم (٣)

المطلب الخامس: تأثير التحليل الطيفي للأصوات العربية في الدراسة الصوتية:

تعد برامج تحليل الأصوات طيفياً من أهم وأفضل ما توصل إليه العلم الحديث حيث أمكن الآن تقديم صور دقيقة لأصوات اللغة من خلال هذه الأجهزة والبرامج. وبإمكان هذه الرسومات الطيفية أن تكشف عن الكثير من الحقائق الصوتية للأصوات ومخارجها وصفاتها وظواهرها المختلفة بشكل أدق مما كان لدى القدماء الذين اعتمدوا على ذكائهم وحسهم المرهف في دراسة الأصوات. ويمكن أن نلخص بعض هذه الفوائد التي توصل إليها العلم الحديث اعتماداً على صور التحليل الطيفي وما تقدمه من قيم رقمية بما يلي:

-يكشف الرسم الطيفي وما يرافقه من قيم رقمية لمستويات التردد والشدة والزمن عن الصفات الفيزيائية للصوامت والفروق بينها؛ حيث تظهر الحركات في صورة التحليل الطيفي أكثر انتظاماً وأكثر كثافة بينما هي مع الصوامت أقل انتظاماً وكثافة. وهذا يدل على أن الحركات تتميز في قيمها العالية في مستوى الطاقة المبذولة وفي مستوى الوضوح السمعي، فهي أقوى من حيث الوضوح السمعي ومن حيث مستوى الطاقة المبذولة من الصوامت.

وتقدم هذه الصور وصفاً دقيقاً للخصائص الفيزيائية للحركات مبينة نوعها وطولها إن كانت قصيرة أم طويلة، أمامية أم خلفية، ضيقة أم متسعة. فبالنظر إلى الصورة الطيفية ومقدار كثافة الحزم الصوتية تمكن الباحثون من تحديد نوع الحركة المنطوقة حيث وجدوا أن أي تغيير في شكل جهاز النطق يتبعه تغير في الشكل الطيفي والشكل الموجي وترددات المكونات الصوتية؛ حيث ترتبط هذه القيم ارتباطاً كبيراً بحركة اللسان عموديًا وأفقيًا، وبمقدار تضييق التجويف الفموي والحلقي، وباستدارة الشفتين المرافقة لنطق الحركة. فتبين لهم أن قيم التردد الأول (F.1)

ترتبط عكسياً مع حجم التضييق الحادث عند نطق الحركات فكلما زاد التضييق باقتراب اللسان من سقف الحنك قل تردد (F.1)، وكلما قل ازدادت قيمة التردد. كما تقل أيضاً كلما زادت استدارة الشفتين المرافقة لنطق الصوت. فعند نطق الفتحة مثلاً يرتفع تردد المكون الأول (F.1) في حين ينخفض مع الضمة والكسرة. ويرتفع تردد المكون الثاني (F.٢) مع كل من الضمة والكسرة في حين ينخفض مع الفتحة. وبشكل عام فقد وجد العلماء أن الفتحة هي الأطول زمنًا والأكثر طاقة وشدة من بين الحركات الأخرى(٢٢). كما وجدوا أن قيم الضغط تكون أكثر ارتفاعاً مع الأصوات المتلوة بالفتح لأن كمية الضغط الواقع على منطقة الحلق عند إنتاج الفتحة أكبر بكثير من كمية الضغط الواقعة على المنطقة الفموية. وذلك لأن نزول اللسان للأسفل يتناسب طردياً مع ضيق الحجرة الحلقية. كما أن الفتحة ناتجة عن حركة قوية للهواء المصاحب لها ولذلك يزيد ضغطها على الهواء الخارجي وعلى كمية الحركات التي تتحركها طبلة الأذن(٢٣).

ومن جهة ثانية تكشف صور التحليل الطيفي عن خصائص الصوامت والفروق بينها في مستوى الشدة والطاقة المبذولة معها. فكل صفة من صفات الأصوات الصامتة لها مظهر فيزيائي واضح مختلف عن غيره يظهره التحليل الطيفي. فالجهر يظهر على شكل ذبذبات دورية منتظمة من بداية الصامت إلى نهايته مع توتر تردد الأساس بما يسمى حزام الجهر.

وصفة الشدة تظهر من خلال الفراغات البيضاء التي تمثل بخط مستقيم في الموجة الصوتية يظهر الانحباس في الأصوات الشديدة لعدم وجود نشاط صوتي لفترة من الزمن ثم يتبعه فترة انفجار ضوضائي تظهر واضحة في الصورة من خلال الترددات التي تتبع نطق الصوت الشديد. أما الصوت الاحتكاكي فتظهر ذبذباته متداخلة مع موجات الصوت ومختلطة به.

وتظهر صفة الأصوات الصفيرية في الصور من خلال الارتفاع في تواتر الضجيج التي يرتفع ليصل إلى درجة كبيرة من مستوى التردد. وتعد الأصوات الصفيرية هي الأكثر ارتفاعاً في مستويات التردد والوضوح السمعي من بين الأصوات الاحتكاكية بسبب التضييق الحاصل في مخرج الصوت.

وصفة التكرير في الراء تظهر في الرسم على شكل انقطاعات متتالية لموجات الصوت تمثل بمساحات بيضاء؛ وذلك بسبب تكرار طرق طرف اللسان على اللثة العليا عند النطق(٢٤).

- من خلال النظر في التحليل الطيفي يمكن حسم بعض المسائل الخلافية بين علماء اللغة القدماء والمحدثين فيما يتعلق بتوصيف بعض الأصوات. ومن ذلك اختلافهم في بعض الأصوات من حيث الجهر والهمس. فالقاف والطاء أصوات مجهورة باتفاق القدماء بينما أكد البحث العلمي الحديث أنها أصوات مهموسة لا يرافقها حدوث اهتزاز أو ذبذبة في الوترين الصوتين في أثناء النطق، ولذا فإن الصورة الطيفية تظهر بما لا يدع مجالاً للشك أنه لا يوجد أثر للذبذبات التي ترافق الصوت المجهور مع هذه الأصوات، حيث يظهر أثر ذبذبة الوترين في الصوت المجهور على شكل خط عريض أسفل الرسم بينما يظهر الصوت المهموس على هيئة تشويش غير منتظم وعليه فهما صوتان مهموسان لا تظهر معهما معالم الصوت المجهور. أما الهمزة التي وصفها القدماء بالجهر فتظهرها الصورة الطيفية على أنها صوت لا مهموس ولا مجهور حيث يصحبها انغلاق تام للوترين الصوتيين يظهر في الصورة على هيئة فراغ تنعدم فيه الإشارة الصوتية ثم يتبعه انفتاح وتدفق للهواء يظهر في الرسم مشابهًا لما تكون عليه حركة الفتحة.

ومن هذه المسائل اختلافهم في توصيف صوت الضاد التي عدها القدماء صوتاً رخواً بينما هي صوت شديد انفجاري عند المحدثين، فتحسم الصورة الطيفية للضاد

هذا الأمر حيث لا يوجد فيها أثر للذبذبات التي تصاحب الأصوات الاحتكاكية وتظهر فيها قيم التردد موزعة توزيعاً عشوائياً. ويظهر فيها الصوت على شكل فراغ أبيض في فترة نشاط صوتي يتبع هذا الفراغ بفترة انفجار ضوضائي ذو تردد عال(٢٥).

- كما تظهر صور التحليل الطيفي تأثر الأصوات وتأثيرها ببعضها داخل السياق، فالأصوات تتفاعل مع بعضها داخل التركيب فتؤثر وتتأثر وتتغير ملامحها حسب ورودها. وأي تغيير يحدث في الكلمة ينسحب تأثيره فيزيائياً على جميع أجزاء الكلمة ومقاطعها، ولذلك يمكن القول إن القيمة الصوتية للأصوات يمكن أن تتغير حسب موقعها داخل السياق. والصورة الطيفية بإمكانها تفسير وتوضيح بعض الظواهر الصرفية والصوتية والتغيرات التي تحدث في الكلمات كالإعلال والإبدال والإمالة والحذف وغيرها. فكل ذلك يظهر أثره واضحاً في الصورة الطيفية التي يمكنها أن تقدم لنا تحليلاً يمكن من خلاله مقارنة ما كانت عليه الكلمات قبل حدوث التغيير فيها وبعده، وتأثير هذا التغير على مقاطع الكلمة حيث تظهر الكلمات غالبًا بعد حدوث الإعلال أو الإبدال أو الإمالة أو الحذف أكثر انسجاماً موجياً وتماثلاً بين المقاطع، وخفة في مستوى الطاقة المبذولة في نطقها(٢٦).
- يمكن للصورة الطيفية أن تقدم تفسيراً للظواهر الصوتية في القرآن الكريم تفسيرًا رقمياً يجعلها ظاهرة للعيان بعد أن نقلت الصورة الطيفية الصوت المسموع إلى صورة مرئية ولذلك يمكنه أن يقدم خدمة كبيرة لعلم التجويد وينهض بمستواه ليواكب التطورات في هذا العصر ويصبح حلقة تربط بين الماضي والحاضر بقالب جديد قائم على البحث العلمي الحديث ومتكئ على التراث اللغوي القديم. فيمكن مثلاً أن تساعد الصورة الطيفية في دراسة ظاهرة المد وقياس زمن المدود بأجزاء من الثانية مما يعطي مقاييس ثابتة ودقيقة تساعد في دراستها وتحديد أجزائها وسماع أي جزء منها. ومن ثم تحليلها وقياس مقادير الشدة والطاقة فيها، وتظهر الصورة أن ما يميز أصوات المد من الناحية الفيزيائية هو عامل الطول الزمني

فكلما كان أطول كانت كمية الطاقة والشدة والتردد أكثر ارتفاعاً. وأن تساعد في معالجة أحكام النون الساكنة والتنوين وأحكام الميم الساكنة بطرق جديدة. والكشف عن الفرق بين الإدغام بغنة وبغير غنة حيث تظهر الصورة الطبقية أن الإدغام بغنة يستغرق نطقه ضعف نطق الصوت في حالة كونه بدون غنة مما يؤدي إلى زيادة في مستوى طاقة الصوت المبذولة عند النطق(٢٧). وأن تفسر ظاهرة القلقلة فقد أثبتت الدراسة الفيزيائية أن الكلمات يزداد ضغطها بغير قلقلة؛ لأن القلقلة تؤدي إلى تخفيف الضغط والتردد في موضع نطق الصوت بالقياس إلى نطقه غير مقلقل كما تعمل على خفض زمن التردد للصوت وتخفض طاقته ومقدار ضغطه مما يسهل على المتكلم أن يتكلم بتلقائية دون بذل جهد كبير(٢٨).

وأخيراً فإن الصور الطيفية أصبح بإمكانها أن تحسم الجدل في مسألة قوة الصوت أو ضعفه التي تحدث عنها القدماء كثيراً اعتماداً على حسهم الشخصي وتذوقهم للحروف حيث اعتمدوا على إحساسهم بالجهد المبذول في عملية التنفس أو وضوح الصوت في السمع للقول بأن الصوت يتميز بالقوة. والأصوات القوية عندهم هي ما تتوفر فيه صفة أو أكثر من صفات كالجهر والشدة والإطباق والاستعلاء والصفير والتكرير والتفشي والاستطالة والغنة والانحراف. أما ما لا يتوفر فيه هذه الصفات فهو في نظرهم صوت ضعيف. أما الآن فقوة الصوت أو ضعفه أصبحت ترجع إلى مجموعة من المعايير الفيزيائية التي يمكن قياسها بالأجهزة العلمية ولم تعد مجرد تخمين أو إحساس أو شعور ذاتي.

نتائج الدراسة

توصلت هذه الدراسة إلى نتائج عدة، منها:

- أسهم العلماء العرب القدماء في إرساء الدعائم الأولى للدرس الصوتي وخلفوا لنا تراثاً لغوياً مهمًا من خلال جهودهم المبذولة في دراسة الحروف ومخارجها وصفاتها وأحكامها العامة. معتمدين على فطنتهم وحسهم المرهف وتذوقهم الشخصي للحروف دون الاستعانة بالوسائل الحديثة والأجهزة العلمية ومع ذلك توصلوا إلى نتائج قيمة وافقت إلى حد بعيد نتائج الدراسة الصوتية الحديثة.

-نالت الدراسة الصوتية في العصر الحديث عناية كبيرة عند علماء اللغة المحدثين مستندين على ما أسسه علماء اللغة القدماء من تراث لغوي ومعتمدين على ما أتاحه التطور التكنولوجي الهائل في مجال الأجهزة والبرامج الحاسوبية ذات الكفاءة العالية التي من شأنها أن تحول أصوات الكلام المنطوقة إلى تمثيل مرئي يسمى الرسم الطيفي، ويكشف التصوير الطيفي عن الخصائص الفيزيائية وهي المعايير التي تحدد على أساسها صفات الأصوات مثل التردد والشدة الأكوستيكية والضغط والسعة الموجية وزمن النطق بالصوت.

-قدم التحليل الطيفي للباحثين في الدرس الصوتي خدمة كبيرة فقد استطاعوا من خلال الرسومات الطيفية لأصوات الكلام الوقوف على الكثير من الحقائق والأسرار المتعلقة بدراسة الأصوات وتبين خصائصها وصفاتها التمييزية التي تميز كل نوع منها عن الآخر والكشف عن الظواهر الصوتية التشكيلية المختلفة كالإبدال والإعلال والإمالة والحذف والإدغام والمد وغيره عن طريق ما تقدمه الأجهزة من صور تبين ما جرى على الكلمات من تغييرات.

-مسألة قوة الصوت أو ضعفه أصبحت الآن تحتكم إلى مجموعة من المعايير الفيزيائية التي يمكن للتصوير الطيفي أن يبينها، ولا مجال فيها للتخمين والتذوق الشخصي كما كانت من قبل.

توصيات الدراسة:

-حث الباحثين على متابعة التطور العلمي الكبير في مجال الدراسة الصوتية والوقوف على أحدث ما توصل إليه العلم الحديث من برامج حاسوبية يمكنها تحليل الأصوات فيزيائياً بجهد قليل وبطريقة علمية وموضوعية تكون نتائجها أكثر دقة مما سبق.

-إنشاء معامل صوتية متخصصة تنهض بالدراسة الصوتية، وتدريب الباحثين على ما فيها من أجهزة وبرامج صوتية تتيح لهم دراسة كافة القضايا المتعلقة بالصوت.

الهوامش:

(١) ينظر: كمال بشر، علم الأصوات، ص ٦٠٦، ٦٠٧، ٦٠٩، ٦٢٣.

(٢) ينظر: حلمي خليل، التفكير الصوتي عند الخليل، ص ١٢- ٣٤. وأحمد محمد قدور، أصالة علم الأصوات عند الخليل من خلال مقدمة كتاب العين، ص ٢٣- ٤٨.

(٣) ينظر: خالد فهمي، سطوة آراء سيبويه على الخالفين في الصوتيات العربية، ص ٢٥٦ وما بعدها.

(٤ ينظر: ابن جني، سر صناعة الإعراب، ص ٦- ٣٠.

(٥) ينظر: أبو نصر الفارابي، الموسيقى الكبير، ص ٢١١، ٢٢٢. وينظر: مشعل الحربي، التفكير الصوتي عند الفارابي في ضوء علم اللغة الحديث، ص ٣٢، ٥٣، ٧٢، ٩٨.

(٦) ينظر: ابن سينا، رسالة أسباب حدوث الحروف، ص ١٠١، ٢٢٢. وينظر: خليل إبراهيم العطية، في البحث الصوتي عند العرب، ص ٨- ١٠.

(٧) ينظر: سمير ستينية، التوصيف الصوتي الحديث للظواهر الصوتية في القرآن الكريم، ص ١١.

(٨) ينظر: منصور الغامدي، الصوتيات العربية، ص ١٧٥- ١٨٦.

(٩) ينظر: خالد السيد، الاتجاهات المعاصرة في علم الأصوات التجريبي، ص ٦٤- ٦٥.

(١٠) ينظر: سمير ستينية، التوصيف الصوتي الحديث للظواهر الصوتية في القرآن الكريم، ص ١١.

(١١) ينظر: خالد السيد، الاتجاهات المعاصرة في علم الأصوات التجريبي، ص ٨١- ٨٢.

(١٢) ينظر: منصور الغامدي، الصوتيات العربية، ص ١٧٩- ١٨٢. وأحمد راغب أحمد، فونولوجيا القرآن، ص ٥٠- ٥١.

(١٣) ينظر: إبراهيم المصري، علم الأصوات الفيزيائي، دراسة تطبيقية في سورة يوسف في ضوء أحكام التجويد، ص ٩- ١٠. ومنصور الغامدي، الصوتيات العربية، ص ١٨٣- ١٨٤. وأحمد راغب أحمد، فونولوجيا القرآن، ص ٥٤؛ عبد الرحمن أيوب، أصوات اللغة، ص ٣٤- ٣٥.

(١٤) ينظر: أحمد راغب أحمد، فونولوجيا القرآن، ص ٥٤. وإبراهيم المصري، علم الأصوات الفيزيائي، ص ٩- ١٠. وكبير بن عيسى، دليل تطبيق تحليل الإشارات الصوتية ومعالجتها، برات، ص ٥- ٦.

(١٥) ينظر: عادل إبراهيم أبو شعره، استعمال المختبرات والأجهزة الصوتية وأثرها في خدمة علم التجويد، المجلد ٤٤، ص ١٦٠.

(١٦) ينظر: أحمد مختار عمر، دراسة الصوت اللغوي، ص ٢٣. وسعد مصلوح، دراسة السمع والكلام، ص ٣٩؛ أمجد كرجيه، فيزياء الصوت والحركة الموجية، ص ٣٦. وبيتر ليد فوجد، علم أصوات الكلام الأكوستيكي، ص ١٤٣.

(١٧) ينظر: عبد الرحمن أيوب، الكلام إنتاجه وتحليله، ص ٢١٦- ٢١٧. وأحمد مختار عمر، دراسة الصوت اللغوي، ص ٣٤. ومنصور الغامدي، الصوتيات العربية، ص ١٥٣.

(١٨) ينظر: عبد الفتاح إبراهيم، مدخل في الصوتيات، ص ٤٠. ووإرنست بولجرام، مدخل إلى التصوير الطيفي للكلام، ص ٣٧. وأمجد كرجيه، فيزياء الصوت والحركة الموجية، ص ٣٥- ٣٦. وسعد مصلوح، دراسة السمع والكلام، ص ٤٢.

(١٩) ينظر: سمير ستينية، الأصوات اللغوية، ص ١٠٣. وبسام بركة، علم الأصوات العام، ص ٤٠، ٤١، ٤٩. وأحمد راغب أحمد، فونولوجيا القرآن، ص ١٥.

(٢٠) ينظر: أحمد مختار عمر، دراسة الصوت اللغوي، ص ٣٠، ٣١، ٣٥. وعبد القادر عبد الجليل، الأصوات اللغوية، ص ٦٠. وعبد الفتاح إبراهيم، مدخل في الصوتيات، ص ٢٨. وبسام بركة، علم الأصوات العام، ص ١٢.

(٢١) ينظر: سمير سنينية، الأصوات اللغوية، ص ١١١، ١٦٧. وعبد العزيز علام، علم الصوتيات، ص ١٥٦، ١٦٧.

(٢٢) ينظر: فوزي الشايب، محاضرات في اللسانيات، ص ١٣٢. وسمير ستينية، الأصوات اللغوية، ص ٢٧٤- ٢٧٥. وسلمان العاني، التشكيل الصوتي في اللغة العربية، ص ٣٨، ٤٠. وابتسام حسين جميل، التحليل النطقي والأكوستيكي للحركات، ص ٢٨، ٢٩.

(٢٣) ينظر: سمير ستيتية، الأصوات اللغوية، ص ٢٧٤- ٢٧٥.

(٢٤) ينظر: السابق ص ١٥٨. والخضر الديلمي، التفسير الفيزيائي لصفات القوة في أصوات العربية، ص ١١٣، ١١٤، ١١٥، ١٢٠، ١٢١.

(٢٥) ينظر: فوزي الشايب، محاضرات في اللسانيات، ص ١٦٧. وأحمد راغب، قضايا صوتية خلافية في ضوء التحليل الصوتي الحاسوبي، ص ٣٨٨- ٣٩٧. والخضر الديلمي، التفسير الفيزيائي لصفات القوة في أصوات العربية، ص ١١٨. وإبراهيم المصري، علم الأصوات الفزيائي، ص ١١٠. وعادل إبراهيم، استعمال المختبرات والأجهزة الصوتية وأثرها في خدمة علم التجويد، ص ١٦٩.

(٢٦) ينظر: سمير ستينية، الأصوات اللغوية، ص ٣٢٩- ٣٣١.

(٢٧) ينظر: سمير ستينية، التوصيف الصوتي الحديث للظواهر الصوتية في القرآن، ص ١٢. وعادل إبراهيم، استعمال المختبرات والأجهزة الصوتية وأثرها في خدمة علم التجويد، ص ١٦٠– ١٦٢. وإبراهيم المصري، علم الأصوات الفيزيائي، ص ١١١.

(٢٨) ينظر: سمير ستينية، التوصيف الصوتي الحديث للظواهر الصوتية في القرآن الكريم، ص ١٢، ١٤، ١٦. والخضر الديلمي، التفسير الفيزيائي لصفات القوة في أصوات العربية، ص ١١٤. وأحمد راغب أحمد، فونولوجيا القرآن، ص ٣١٩.

قائمة المصادر والمراجع:

١-ابتسام حسين جميل، التحليل النطقي والأكوستيكي للحركات وللانتقال بينها وبين الوقفيات في العربية، رسالة ماجستير، جامعة اليرموك.

٢-إبراهيم إسماعيل المصري، علم الأصوات الفيزيائي، دراسة تطبيقية في سورة يوسف في ضوء أحكام التجويد، رسالة ماجستير، القدس، فلسطين، ٢٠١٢م.

٣-ابن جني، سر صناعة الإعراب، تحقيق: حسن هنداوي.

٤-ابن سينا، رسالة أسباب حدوث الحروف، تحقيق: محمد حسن الطيان، يحيى مير علم، مطبوعات مجمع اللغة العربية، دمشق.

٥-أبو نصر الفارابي، الموسيقى الكبير، تحقيق: غطاس عبد الملك خشنة، محمود أحمد الحفني، دار الكاتب العربي للطباعة والنشر، القاهرة.

٦-أحمد راغب أحمد، فونولوجيا القرآن، رسالة ماجستير، جامعة عين شمس، كلية الآداب.

٧-أحمد راغب أحمد، قضايا صوتية خلافية في ضوء التحليل الصوتي الحاسوبي، مجلة جامعة القدس المفتوحة للأبحاث والدراسات، القدس، ط ٣٦، ٢٠١٥م.

٨-أحمد محمد قدور، أصالة علم الأصوات عند الخليل من خلال مقدمة كتاب العين، دار الفكر، ١٩٩٧م.

٩-أحمد مختار عمر، دراسة الصوت اللغوي، عالم الكتب، القاهرة، ١٩٩١م.

١٠-إرنست بولجرام، مدخل إلى التصوير الطيفي للكلام، ترجمة وتقديم: سعد مصلوح، عالم الكتب، القاهرة، ٢٠٠٢م.

١١-أمجد كرجيه، فيزياء الصوت والحركة الموجية، مديرية دار كتب للطباعة والنشر، جامعة الموصل، ١٩٨٥م.

١٢-بسام بركة، علم الأصوات العام، مركز الإنماء القومي، لبنان، بيروت.

١٣-بيتر ليد فوجد، علم أصوات الكلام الأكوستيكي، ترجمة: جلال شمس الدين،

ومراجعة: سعد مصلوح، ١٩٩٢م.
١٤-حلمي خليل، التفكير الصوتي عند الخليل، الطبعة الأولى، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية، ١٩٨٨م.
١٥-خالد السيد محمد رفعت، الاتجاهات المعاصرة في علم الأصوات التجريبي، بحث منشور في مجلة علوم اللغة، م ٥، ع ١، القاهرة، ٢٠٠٢م.
١٦-خالد فهمي، سطوة آراء سيبويه على الخالفين في الصوتيات العربية، بحث منشور في مجلة أم القرى لعلوم اللغات وآدابها، مكة المكرمة، ٢٠١٤م، العدد الثاني عشر.
١٧-الخضر الديلمي، التحليل الفيزيائي لصفات القوة في أصوات العربية: دراسة مخبرية، أطروحة دكتوراه، ٢٠١٧- ٢٠١٨م.
١٨-الخضر الديلمي، التفسير الفيزيائي لصفات القوة في أصوات العربية، بحث منشور، مجلة الممارسات اللغوية، العدد السادس والثلاثون، ٢٠١٦م.
١٩-خليل إبراهيم العطية، في البحث الصوتي عند العرب، منشورات دار الجاحظ للنشر، بغداد، ١٩٨٣م.
٢٠-سعد مصلوح، دراسة السمع والكلام، عالم الكتب، القاهرة، ١٩٨٠م.
٢١-سلمان العاني، التشكيل الصوتي في اللغة العربية، ترجمة: ياسر الملاح، مراجعة: محمود غالي، الطبعة الأولى، النادي الأدبي الثقافي، جدة، ١٩٨٣م.
٢٢-سمير ستينية، الأصوات اللغوية، رؤية عضوية ونطقية وفيزيائية، الطبعة الاولى، دار وائل للنشر والتوزيع، عمان، الأردن، ٢٠٠٣م.
٢٣-سمير ستينية، التوصيف الصوتي الحديث للظواهر الصوتية في القرآن الكريم، بحث منشور، مجلة تجسير، قطر، م ٣، ع ١، ٢٠٢١م.
٢٤-عادل إبراهيم أبو شعره، استعمال المختبرات والأجهزة الصوتية وأثرها في خدمة علم التجويد، مجلة دراسات علوم الشريعة، المجلد ٤٤، ملحق ٢، ٢٠١٧م.

٢٥-عبد الرحمن أيوب، الكلام إنتاجه وتحليله، الطبعة الأولى، ١٩٨٤م.
٢٦-عبد العزيز علام؛ عبد الله ربيع محمود، علم الصوتيات، الطبعة الأولى، مكتبة الرشيد، الرياض، ٢٠٠٤م.
٢٧-عبد الفتاح إبراهيم، مدخل في الصوتيات، دار الجنوب، تونس.
٢٨-عبد القادر عبد الجليل، الأصوات اللغوية، الطبعة الأولى، دار صفاء للنشر والتوزيع، عمان، الأردن، ١٩٩٨م.
٢٩-فوزي الشايب، محاضرات في اللسانيات، الطبعة الأولى، وزارة الثقافة، الأردن، ١٩٩٩م.
٣٠-كبير بن عيسى، دليل تطبيق تحليل الإشارات الصوتية ومعالجتها، برات، العدد التاسع، ٢٠١٩م.
٣١-كمال بشر، علم الأصوات، الطبعة الأولى، دار غريب للطباعة والنشر، القاهرة، ٢٠٠٠م.
٣٢-مشعل الحربي، التفكير الصوتي عند الفارابي في ضوء علم اللغة الحديث، رسالة ماجستير، جامعة الشرق الأوسط، ٢٠١٥م.
٣٣-منصور الغامدي، الصوتيات العربية، الطبعة الأولى، مكتبة التوبة، الرياض، ٢٠٠١م.