

التحليل الفيزيائي للحروف المفخمة العربية باستخدام البرمجية الحاسوبية (Praat)

Acoustic Analysis of Arabic Emphatic Phonemes Using Praat Software

كمال فرات*

مركز البحث العلمي والتقني لتطوير اللغة العربية - الجزائر

kamelferrat@yahoo.fr

تاريخ الإرسال: 2024/04/03 - تاريخ القبول: 2024/05/27 - تاريخ النشر: 2024/06/30

الملخص:

قمنا في هذه الدراسة بتفسير الظواهر النطقية للحروف المفخمة العربية عن طريق التحليل الفيزيائي للكلام، وذلك باستغلال وسائل التكنولوجيا الحديثة المتمثلة في البرمجية الحاسوبية (Praat)، وغرضنا من وراء ذلك تقديم تفسير صوتي علمي لظاهرة التفخيم في ضوء الخلافات المتعددة لدى المهتمين بدراسة الأوضاع والحركات التي تأخذها الأعضاء النطقية أثناء النطق بالحروف المفخمة؛ فضلاً عن التأثير الصوتي الفيزيائي أو الأكوستيكي الناتج، فالتحليل الفيزيائي للكلام مجال مهم يوفر دراسة موضوعية وتفسيرا ملموسا للظواهر النطقية الخاصة باللغة العربية مثل التفخيم والتشديد ومخارج الحروف وصفاتها وغيرها. وقد اعتمدنا على البرمجيات الحاسوبية التي يمكن أن تُستغل في دراسة ظواهر التفخيم وغيرها وتفسيرها في اللغة العربية وما ينتج منها من حركات فيزيولوجية أثناء النطق، وقد تساهم بشكل فعال في توفير الموضوعية للدراسات المتعلقة بالصوتيات من خلال تزويد المتخصصين في هذا المجال بالعديد من المعطيات الدقيقة في صيغة منحنيات طيفية وبيانات رقمية تخرجنا من دائرة التفسيرات النظرية المبنية على الوصف إلى التفسير الموضوعي المبني على الدليل الملموس.

الكلمات المفتاحية: التحليل الفيزيائي؛ التفخيم؛ الحروف المفخمة العربية؛ البرمجية الحاسوبية Praat.

* المؤلف المراسل: كمال فرات

Abstract:

In this study, we interpret the pronunciation phenomena of Arabic emphatic phonemes through acoustic analysis of speech, exploiting recent technology and Praat software. Our goal is to provide a scientific acoustic interpretation of the emphasis phenomenon in light of the numerous disagreements regarding the positions and movements of speech organs during the pronunciation of emphatic phonemes, as well as the resulting physical or acoustic sound effect. Acoustic analysis of speech is an important field that greatly helps in the objective and concrete interpretation of pronunciation phenomena specific to the Arabic language, such as emphasis, stress, the place and manner of articulation of phonemes. Computer software can be used to study and interpret the emphasis phenomenon and other phenomena in the Arabic language, including the physiological movements that occur during pronunciation. This approach may significantly contribute to the objectivity of phonetic studies by providing specialists with precise data in the form of spectral curves and digital data, transitioning from theoretical to objective interpretation based on tangible evidence.

Key words: acoustic analysis; emphasis; Arabic emphatic phonemes; Praat software.

- مقدمة

شكلت دراسات عديدة موضوعًا لخلافات شتى فيما يتعلق بحركات الأعضاء النطقية وأوضاعها أثناء النطق بالحروف المفخمة، وكذا التأثير الصوتي الفيزيائي أو السمعي الناتج، الذي يمثل لهذا السبب أهمية خاصة جعلتنا نقوم بدراسة الحروف المفخمة من خلال استغلال دقة الأدوات التكنولوجية الحديثة للتحليل الفيزيائي واستخراج الخصائص أو المؤشرات الفيزيائية التي تسمح لنا بالتفسير الدقيق لما يحدث فيزيولوجيا أثناء النطق بالحروف المفخمة. وفي العصر الحالي، يعتبر التحليل الفيزيائي للكلام مجالًا مهمًا يمكن أن يساعد بصفة ملموسة في عرض موضوعي وتفسير دقيق لظواهر اللغة العربية كالتفخيم والتشديد ومخارج الحروف وصفاتها¹. نحاول من خلال هذه الدراسة أن نفسّر فيزيائياً ما يحدث أثناء النطق بالحروف المفخمة باستغلال البرمجية الحاسوبية (Praat)؛ إذ نقوم باستخراج الخصائص الفيزيائية التي تفسّر لنا كل ما يحدث أثناء النطق بالحروف منذ خروج الهواء من الرئتين ووصوله إلى الحنجرة واهتزاز الوترين الصوتيين لجهاز النطق أو عدم اهتزازهما، وما يحدث للصوت عند خروجه من الحنجرة ومروره عبر تجايف جهاز النطق، ونحاول من خلال ذلك الإجابة عن التساؤلين الآتيين: هل لظاهرة التفخيم تأثير في مستوى الخصائص الفيزيائية للكلام؟ وهل تظهر الخصائص الفيزيائية انتشاراً أمامياً وخلفياً لظاهرة التفخيم داخل الفعل الكلامي؟

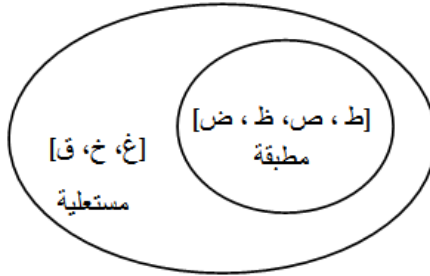
1. ظاهرة التفخيم في اللغة العربية من وجهة نظر علماء الصوتيات

تعدّ ظاهرة التفخيم في اللغة العربية، في مجال علم الأصوات، من أهم الظواهر اللغوية والمسائل الصوتية ذات الإشكال والغموض الكبيرين، ولا تزال تحتاج إلى الكثير من الجهود والدراسات بغية التفسير العلمي والموضوعي لها. لقد أعطى لظاهرة التفخيم عدة تسميات منها: الإطباق والتغليظ والاستعلاء والتسمين والتجسيم، ولكن أكثر المصطلحات شيوعاً في ميدان الصوتيات يمكن حصره في مصطلحين اثنين هما الإطباق والاستعلاء. ونجد هذه الظاهرة محدّدة عند الصوتيين القدامى بمصطلح "الإطباق" لارتفاع اللسان للأعلى وانطباقه على الحنك الأعلى، ولذلك يقول سيبويه في هذا الصدد: "لولا الإطباق لصارت الطاء دالا، والطاء ذالا والصاد سينا ولخرجت الضاد من الكلام لأنه ليس شيء من موضعها"².

وكثيرا ما نجد خلطا وتداخلا بين ثلاثة مصطلحات للتعبير عن هذه الظاهرة هي: التفخيم والإطباق والاستعلاء، والحقيقة أن كل واحد منها يُعبر عن مفهوم معيّن وواضح؛ فالإطباق يعبر عن ارتفاع اللسان للأعلى وانطباقه على الحنك الأعلى الصلب، وأما الاستعلاء فهو يخص حركة مؤخر اللسان نحو منطقة الحنك اللين واللمهاة، ولذلك هناك الكثير من الصوتيين الذين يصنفون الحروف اللهوية الخلفية [غ، خ، ق] مع الحروف المفخمة لوجود ظاهرة الاستعلاء التي تميز الحروف المفخمة، غير أن تلك الحروف لا تحتوي على ظاهرة الإطباق وليس لها مقابل مرقق وغير مفخم، فالتفخيم أعم من الاستعلاء.

يبين الشكل 1 أن الحروف الأربعة [ط، ص، ظ، ض] تشترك مع الحروف اللهوية في صفة الاستعلاء كما أنها تحتوي على صفة الإطباق؛ فالحروف الأربعة [ط، ص، ظ، ض] التي تجمع بين الظاهرتين الإطباق والاستعلاء هي حروف التفخيم.

الشكل 1: الحروف المطبقة والمستعلية في اللغة العربية



وعليه نجد تميزا واضحا عند علماء التجويد بين ظاهرتي الإطباق والاستعلاء اللتين توصفان بكونهما حركتين عضويتين، بينما يُعدُّ التفخيم الذي يعتبر أثرا سمعيا ناتجا عن هاتين الحركتين، فهناك إذن فرق واضح ودقيق بين حركة اللسان من حيث هو عضو نطقي والأثر السمعي المحقق عن تلك الحركة. وقد وافقهم الرأي الكثير من المحدثين ومن بينهم عبد الصبور شاهين الذي ذكر الفرق بين الإطباق والتفخيم حيث قال: "الإطباق وصف عضوي للسان وأن التفخيم هو الأثر الناشئ عن هذا الإطباق"³، وكذا الدكتور محمد علي الخولي الذي يرى أن: "الإطباق سمة تضاف إلى الصوت إذا ارتفع مؤخر اللسان نحو الطبق (الحنك الأعلى). هذا الارتفاع

يؤدي إلى تفخيم الصوت"⁴. ولذلك يمكن القول بأن العلاقة التي تربط الحرف المفخم بالحرف غير المفخم المقابل تكون كالآتي:

الشكل 2: الحروف المفخمة ومقابلاتها الحروف المرققة في اللغة العربية

ط ←	ت + الإطباق
ص ←	س + الإطباق
ظ ←	ذ + الإطباق
ض ←	- + الإطباق

ومن بين التعريفات المختلفة المقدمة لمفهوم التفخيم في علم الأصوات يمكننا أن نذكر على وجه الخصوص التعريف القديم جداً لسيبويه، أحد أبرز النحاة القدامى الممثلين لمدرسة البصرة، الذي لا يزال تعريفه لمفهوم التفخيم، الذي أورده في مؤلفه الشهير "الكتاب" في القرن الثاني (796م)، مرجعاً في الوقت الحاضر. كما يمكن ذكر تعريفات أوبريخت (1968) وكوهين (1969) والتعريفات الأحدث قليلاً لسلمان حسن العاني (1970) وجيانيني وبيتورينو (1982).

عندما تطرّق سيبويه لظاهرة التفخيم ذكر أن الحروف يمكن أن تكون مطبقة أو منفتحة، وبخصوص الإطباق ذكر أن اللسان أثناء التفخيم يأخذ وضعاً يصير فيه "غطاء" (couvercle) لكل مساحة مخرج الحرف، ويكون مرفوعاً نحو الجزء المقابل من الحنك الأعلى؛ فبالنسبة لسيبويه لولا وجود ظاهرة الإطباق لنطقت الطاء دالا والصاد سينا والطاء ذالا ولخرجت الضاد من اللغة العربية، لأنه ليس لها مقابل غير مفخم؛ فهنا نلاحظ أن سيبويه قابل حرف الطاء بحرف الدال المجهور لأنه صنف الطاء مع الحروف المجهورة، ومفهومه القديم للجهر (إشباع الاعتماد في موضع النطق) يختلف تماماً عن المفهوم الجديد للجهر الذي يعبر عن اهتزاز الوترين الصوتيين.

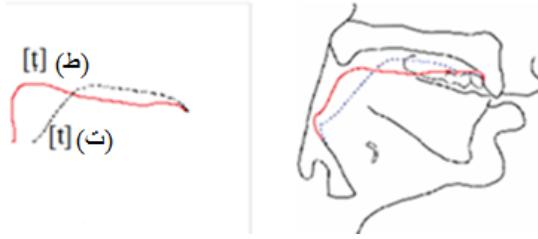
وحسب سلمان حسن العاني (1970) في دراسته للحروف العربية، فإن المنطقة الأكثر تأثيراً أثناء النطق بالحروف المفخمة هي المنطقة البلعومية (الحلقية) وليست المنطقة اللهوية كما يقول غيره من علماء الصوتيات⁵؛ فالعاني مثل سيبويه قصر التفخيم على الحروف الأربعة الآتية: [ط]، [ص]، [ض] و[ظ]، ولكنه خالف سيبويه عندما فضل استعمال مصطلح "التحليق" (pharyngealisation) بديلاً لمصطلح "الإطباق" للتعبير عن ظاهرة التفخيم، وهذا راجع حسب رأيه لوجود مخرج ثانٍ في مستوى الحلق أثناء النطق بهذه الحروف. وهذا أيضاً هو الحال في الدراسة التي أجراها جيانيني A. Giannini وبيتورينو M. Pettorino إذ أفادا في دراستهما عن التفخيم في اللغة العربية سنة 1982 أن مارسيه Marçais (1948) ذكر في بحوثه عن اللغة العربية المغاربية أن "التفخيم حسب الشاشة الفلوروسكوبية يتضمن امتداداً للسان من الأمام إلى الخلف، مع تقعر وسط ظهره، ولذلك ينتج عنه اتساع للتجويف الحنكي اللهوي"⁶. كما أظهرت دراستهما التي أجريت باستخدام تحليلات كيموغرافية وتصويرية للأشعة السينية، أنه أثناء التفخيم: "حركات العظم اللامي (os hyoide) تشير إلى ارتفاع كتلة الحنجرة وجهد عضلي نحو الخلف" وبذلك ينتج تضيق للتجويف الحلقي⁷

وأما بالنسبة لكوهين Cohen (1969) فيبدو أن الميزة الأساسية للتفخيم هي حركة الجهاز الصوتي نحو الخلف، بما في ذلك تقليص حجم التجويف الحلقي عن طريق حركة نحو الجزء الخلفي لجذر اللسان الذي ينحني وبالتالي يقوم باتساع التجويف الفموي⁸.

وفي السياق نفسه، وفي تحقيقاته التجريبية، بنى أوبريخت D.H. Obrecht بحوثه سنة 1968 على افتراض مسبق بأن التفخيم يتمثل في تضيق التجويف الحلقي (البلعومي) الذي يضاف إلى المخرج الخاص بنطق الحرف الذي يشاركه فيه الحرف غير المفخم المقابل⁹.

وبشكل عام، فإن أغلب الباحثين في الصوتيات يميل إلى تعريف ظاهرة التفخيم بأنها تتمثل في حركة جذر اللسان إلى الخلف وتقعر ظهر اللسان وهبوطه نحو منطقة الحلق الأعلى، وينتج عنه اتساع في حجم التجويف الفموي وانخفاض في حجم التجويف الحلقي (الشكل 3).

الشكل 3: نطق الحرف المفخم [ط] ومقابله المرقق [ت]



1.1. الحروف المفخمة في اللغة العربية

في اللغة العربية أربعة حروف مفخمة هي الصاد ثم الطاء والظاء والضاد؛ فصوت الصاد يتحقق بوضع اللسان في جزئه الأمامي موضع السين (المخرج نفسه)، فينطبق على الحنك الأعلى ويرتفع جزؤه الخلفي نحو الحنك اللين ليأخذ اللسان شكلا مقعرا، والطاء بين الأسنان مخرجها الذال ثم ينطبق اللسان على الحنك الأعلى ويستقر وسطه مع ارتفاع خلفه نحو الحنك اللين الخلفي لتكون الطاء، وهذا ما ينطبق كذلك على حرف الطاء، وأما الضاد فليس لها مقابل مرقق في موضع النطق نفسه، وعليه فالحروف المفخمة في اللغة العربية هي على التوالي:

- الحرف الحبسي (الانفجاري) اللثوي الأمامي المهموس [ط]؛
- الحرف التسريبي (الاحتكاكي) الأسنان اللثوي المهموس [ص]؛
- الحرف الحبسي (الانفجاري) اللثوي الأمامي المجهور [ض]؛
- الحرف التسريبي (الاحتكاكي) بين الأسنان المجهور [ظ].

ومن الملاحظ أن حرف الطاء صوت مهموس في اللغة العربية المعاصرة، وقد اعتبره سيبويه مفخم الدال في كتابه؛ إذ قال "لولا الإطباق لصارت الطاء دالا"، وبذلك عدّها من الحروف المجهورة بينما صنفها المحدثون مع الحروف المهموسة لعدم اهتزاز الوترين أثناء النطق بها. والحقيقة أن مفهوم الجهر عند سيبويه والقدماء (إشباع الاعتماد في المخرج) يختلف تماما عن مفهوم الجهر المعاصر (اهتزاز الوترين الصوتيين).

ومن الملاحظ أيضا أن مخرج الضاد عند سيبويه يكون بين أول حافة اللسان وما يليها من الأضراس، فهذا الحرف يتصف عند سيبويه بالجهر والرخاوة والإطباق

والاستعلاء والاستطالة، فهو صوت رخو لا ينحبس النفس في مخرجه، عكس ما يصفه به المحدثون (حرف حبسي مفخم يقابله الدال الحبسي المرقق)، ولا يقابله أي حرف عند سيبويه في قوله "لخرجت الضاد من الكلام لأنه ليس من موضعها شيء غيرها".

2.1. الحروف الدائرة بين المفخمة والمرققة

يقصد بها الحروف التي ترقق في النطق في بعض الأحوال وتفخّم في بعضها الآخر حسب السياق وحسب الحركات المجاورة (الفتحة والضمة والكسرة)، وهذه الحروف هي اللام والراء، فهي تأدييات خاصة لحروف اللام والراء تجعلها مفخمة في بعض السياقات ولا تصنف ضمن الحروف المفخمة، لأنها لا تتصرف بهذه الصفة إلا في حالات معينة؛ فبالنسبة للنحاة العرب القدماء، فإن اللام المفخمة هي تأدية متنوّعة (variante) للام المرققة وغير المفخمة، وينطق بالتفخيم في اسم الجلالة [الله] عندما تسبق اللام فتحة مثل (والله) أو ضمة مثل (قالوا اللهم)، بخلاف لفظه غير المفخم في اسم الجلالة نفسه عندما يسبق الحرف المفخم كسرة مثل (بسم الله). وأما الراء فتفخم في سياقات معينة: إذا كانت مثلاً مفتوحة أو مضمومة (رَبَّنَا، رُزِقْنَا)، وإذا كانت ساكنة بعد فتح أو ضم (فَأَرْتَقِب، الأُمُوز)، وإذا كانت ساكنة بعد كسر أصلي (فِرْقَة).

3.1. تأثير ظاهرة التفخيم في الأصوات المجاورة للحرف المفخم

تتفق دراسات عديدة على أن هناك بالفعل تأثيراً لظاهرة التفخيم في الأصوات المجاورة إذ يحدث انتشار أمامي (تقدمي) (progressive) وآخر خلفي (تراجعي) (regressive) للتفخيم أثناء الكلام. ومن ناحية أخرى فإن ظاهرة التفخيم لا تقتصر في مستوى الصوت المفخم فحسب، بل تمتد إلى الصوتيات المجاورة¹⁰.

وقد سبق لبعض علماء الصوتيات أن استشهدوا بذلك في أعمالهم، وإن كان ذلك بشكل سطحي، كجرامونت (Grammont) الذي قال: "في كثير من اللهجات العربية، يُحدّد الحرفُ الحنجري والحلقي والمفخم تفخيم صوت آخر ينطق قبله أو بعده، خاصة الحرف الأسنانّي أو الصفيري"¹¹. وهذا ما أشارت إليه دراسات أخرى

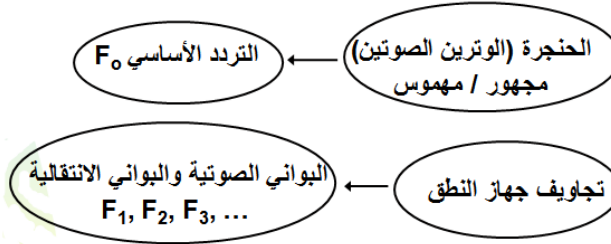
مثل الدراسات التي أنجزها غزلي (Ghazeli) سنة 1982 وبويش (Puech) وحمدى (Hamdi) سنة 1989 وغيرهم¹².

ومع ذلك، لا يزال هناك الكثير من الجدل حول هذا الانتشار الأمامي والخلفي للتفخيم أثناء الكلام، فما هو حدّه في مستوى سلسلة الكلام المنطوق؟ وهل يكون قادراً على تجاوز حدود الكلمة؟ وهل ذلك موجود في جميع السياقات؟ وهل هو أكثر حضوراً في الاتجاه التقدمي أم في الاتجاه الرجعي؟ فهناك الكثير من الأسئلة التي تخضع إجاباتها للجدل أو لم يتم تسليط الضوء عليها بعد.

2. الخصائص الفيزيائية للكلام

لدراسة الصوت البشري أو الكلام وما يحدث داخل جهاز النطق أثناء الكلام نستعمل خصائص فيزيائية خاصة تتمثل في الكشف عن التردد الأساسي، وفي تحديد البواني الصوتية والبواني الانتقالية وفي الشكل البياني التالي مزيداً من التوضيح:

الشكل 4: أعضاء جهاز النطق وما يقابلها من خصائص فيزيائية



1.2. التردد الأساسي (fundamental frequency)

يتعلق التردد الأساسي (ارتفاع الصوت بصفة عامة) من الناحية الفيزيولوجية بتردد ذبذبات أو اهتزازات الوترين الصوتيين، فهو يمثل مجموع ذبذبات الوترين الصوتيين في الثانية وتكتب بالرمز F_0 وتقرأ "ف صفر" وتقاس بوحدة الهرتز (Hz). وتعرف القيم المتعددة لقيمة التردد الأساسي بالنغمات.

وترتبط طبقة تغيرات التردد الأساسي بعدة عوامل أهمها السن والجنس وحجم الوترين الصوتيين وطولهما، فهي تتراوح بين 80 إلى 150 هرتز عند الشخص الذكر

البالغ ويكون الصوت غليظا (grave)، وتتراوح بين 150 إلى 350 هرتز عند المرأة ويكون الصوت حادا (aigu)، وتكون أكثر حدة وارتفاعا عند الطفل إذ يتراوح بين 350 إلى 600 هرتز، كما يتغير مستوى التردد عند المتكلم نفسه حسب مقاصد الكلام المنجز (خبر، استفهام، أمر، إلخ) وحسب حالته النفسية (فرح، قلق...).

2.2 شدة الصوت (Intensity)

تمثل شدة الصوت الصفة أو النوعية التي تساعدنا على التمييز بين الصوت القوي (المرتفع) والصوت الضعيف (المنخفض)، وتقيس الشدة الصوتية طاقة الفعل الصوتي وتتوقف على ضغط الهواء "تحت المزماري" بشكل خاص، ونستعمل في غالب الأحيان وحدة قياس نسبية تعرف بـ "الديسبل: (dB)". ويبدأ سلم مستويات الشدة التي يخضع لها صوت الإنسان من الصفر (0 dB) وهو عتبة السمع لدى الإنسان (السكون أو الصمت) وينتهي في حدود 120 dB حيث عتبة الألم. فعلى سبيل المثال: يعادل الهمس 20 ديسبل، وتكون المحادثة الطبيعية في حدود 60 ديسبل، ومن 70 إلى 80 ديسبل تكون المحادثة مرتفعة في مكان صاخب أو حركة مرور كثيفة، وأما 100 ديسبل فتخص الصراخ المرتفع للأطفال أو حركة دراجة نارية، و120 ديسبل تناسب صوت محرك الطائرة. وقد تُسبب الأصوات التي تتعدى قيمتها 90 ديسبل خطراً على صحة الإنسان، إذ تؤدي إلى إصابته بضرر سمعي دائم أو مؤقت نتيجة لإحداث ضرر بعظيومات الأذن الوسطى وثقلاً بطلبة الأذن (Tympan).

والأصوات الأسهل إدراكاً أو سماعاً هي الصوائت لأنها تنطق في مستوى الترددات المنخفضة الغليظة (grave)، وأما الصوائت التسريبية المهموسة مثل [s, f] فهي الأصوات الأكثر تعرضاً لعدم السمع إذ لا يمكن إدراكها في الصممين الأدنى والخفيف¹³.

3.2 البواني الصوتية (Formants)

يتعرض الصوت أثناء مروره عبر تجاويف جهاز النطق فوق المزمارية لتغيرات مختلفة مرتبطة بدرجات الانفتاح والانغلاق التي تحدث في مستوى كل تجويف حسب وضعية اللسان والشفيتين... وتمتلك هذه التجاويف ترددات رنينية (resonant frequency) تقوي بعض مناطق الطيف، ويطلق اسم البواني الصوتية

على الترددات الرنينية التي تتطابق مع تجايف مجرى الصوت وتختلف حسب حجم التجويف وسطح انفتاح الرنّان.

تدرس البواني الصوتية بصفة عامة الصوت والتغيرات التي تحدث له عند مروره عبر تجايف جهاز النطق وله قيم ترددات نسبية معاكسة لحجم التجايف، إذ كلما زاد حجم التجويف كانت قيمة التردد منخفضة، والعكس صحيح فكلما كان حجم التجويف صغيراً كانت قيمة التردد مرتفعة، ونرمز للبواني الصوتية برموز F_1 ، F_2 ، F_3 ... نسبة للتجايف المتعلقة بكل بانينة صوتية.

لكل صوت بوانية المميزة ولكي نتمكن من نطق مختلف الحروف لابد من توفر ثلاث بوان صوتية على الأقل، وقد نصل عموماً إلى خمس بوان صوتية من أجل توليد كلام ذي مستوى عال.

تظهر فيزيائياً البانينة الصوتية (F_1) في التجويف الرنّان الموجود بين الحنجرة وظهر اللسان (التجويف الحلقي).

وتظهر البانينة الصوتية (F_2) في التجويف الرنّان الموجود بين ظهر اللسان والأسنان (التجويف الفموي).

وتتوقف البانينة الصوتية (F_3) عند التجويف الصغير الموجود بين الأسنان والشفيتين ويعبر غالباً عن استدارة الشفتين.

وقد تظهر البواني الصوتية على الرسم الطيفي على شكل شرائط سوداء أفقية وتشير درجة السواد إلى شدة الصوت فكلما زادت درجة السواد ارتفعت درجة الصوت.

3. التحليل الفيزيائي للحروف المفخمة في اللغة العربية في ضوء البرمجية الحاسوبية

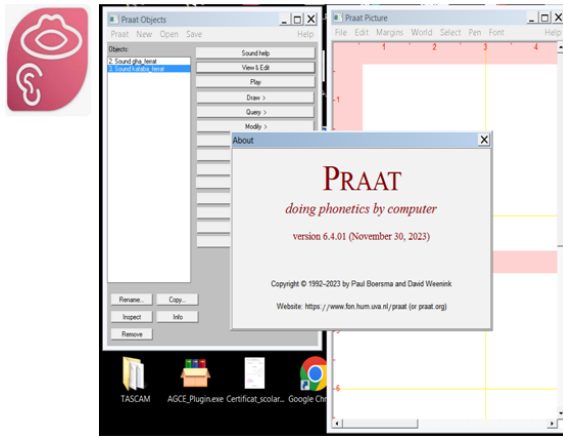
لدراسة ظاهرة التفخيم والحروف المفخمة العربية استعملنا برمجية حاسوبية تسمح بالتسجيلات الصوتية واستخراج المؤشرات أو الخصائص الفيزيائية للكلام متمثلة في الظواهر النغمية وهي التردد الأساسي، والبواني الصوتية، والشدة... إلخ.

1.3 البرمجية الحاسوبية برات (Praat)

أصبحت البرمجية الحاسوبية برات (Praat) اليوم من أهم البرمجيات المستعملة للتحليل الفيزيائي للكلام ومن أهم الوسائل المستعملة لدراسة اضطرابات الكلام. وقد اخترعها "بول بورسماء - Paul Boersma" و"دافيد وينيك - David Weenik" بمعهد الصوتيات التابع لجامعة أمستردام بهولندا (Nederland)¹⁴.

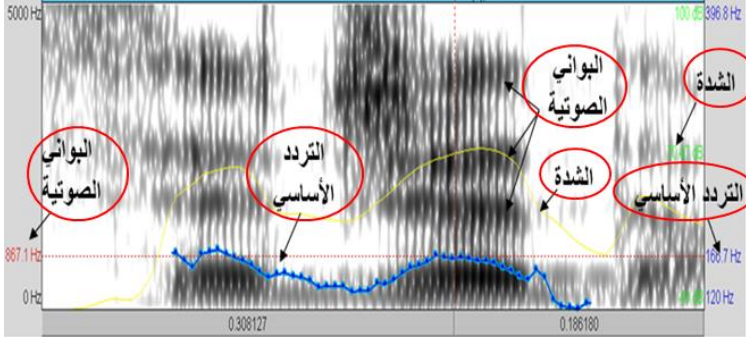
الشكل 5: البرمجية الحاسوبية برات (Praat)

(<https://www.fon.hum.uva.nl/praat/>)



فعلى شاشة الحاسوب كما هو في (الشكل6)، يظهر لنا جِلّ المعلومات التي يمكن استغلالها لدراسة الكلام، وهي تتمثل في منحنيات الخصائص الفيزيائية وقيمها.

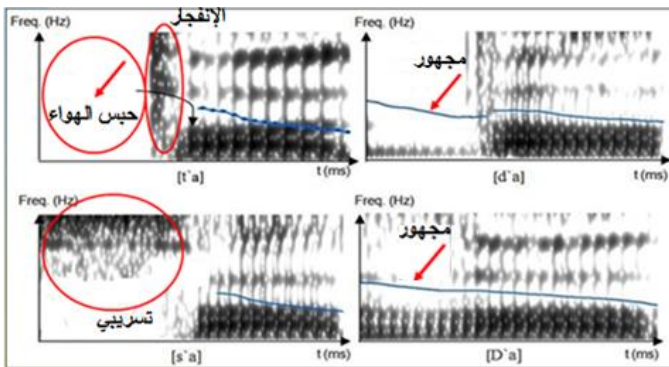
الشكل 6: الخصائص الفيزيائية للكلام (القيم والمنحنيات)



2.3. نتائج التحليل الفيزيائي للحروف المفخمة العربية في ضوء البرمجية الحاسوبية

سمحت لنا البرمجية الحاسوبية (Praat) التي تعمل على شكل جهاز طيفي (Sonagraph) برؤية أهم صفات الحروف المفخمة العربية الأربعة في شاشة الحاسوب ومعرفة ما يحدث فيزيولوجيا وبصفة دقيقة أثناء النطق بها (الشكل 7).

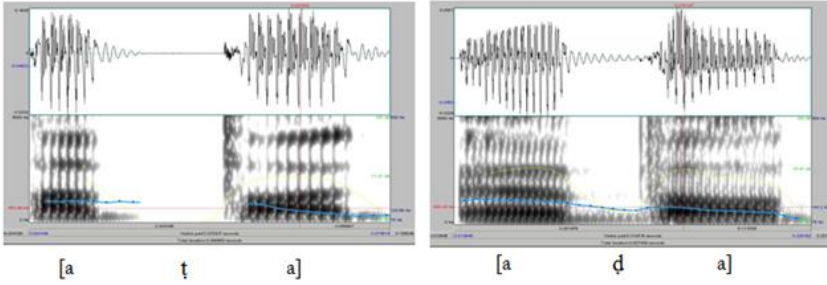
الشكل 7: صفات الحروف المفخمة (حبسي/تسريبي، مجهور/مهموس) في شاشة الجهاز الطيفي



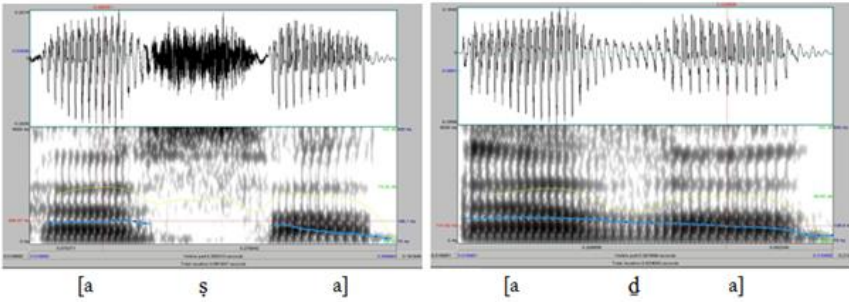
- البواني الصوتية

تُظهر لنا دراسة الأصوات المفخمة العربية وما يُصيها من الانتقالات أثناء الكلام إلى الحركات أو الصوائت (المعبر عنها بالبواني الانتقالية) ارتفاعاً في البانية الصوتية (F_1) بسبب تقلص حجم التجويف الحلقي أو البلعومي، وانخفاضاً في البانية الصوتية (F_2) بسبب اتساع حجم التجويف الفموي. ويمكن تفسير تلك الظواهر النطقية بقاعدة فيزيائية تبين أنه كلما اتسع تجويف الرنين انخفض التردد، وكلما كان هذا التجويف أصغر زادت قيمة التردد.

الشكل 8: الرسم الطيفي لنطق الحروف الحسية المفخمة (ط) و(ض)



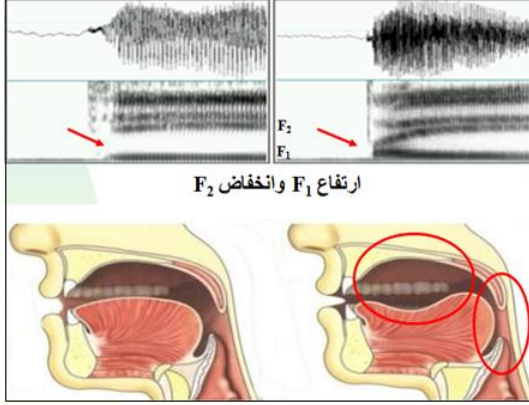
الشكل 9: الرسم الطيفي لنطق الحروف التسريبيه المفخمة (ص) و(ظ)



فأثناء التفخيم يتحرك جذر اللسان إلى الخلف مع هبوط وتقعير ظهره فينتج عن هذه الحركة اتساع لحجم التجويف الفموي، ولذلك ينتج انخفاض في تردد الرنين الذي يتمثل في البانية الصوتية (F_2). ومن ناحية أخرى يتقلص حجم

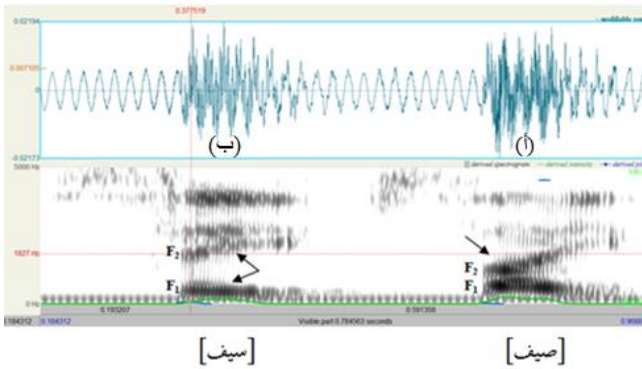
التجويف الحلقي ولذلك ترتفع قيمة تردد الرنين الموافق للبنانية الصوتية (F_1) (الشكل 10).

الشكل 10: ارتفاع (F_1) وانخفاض (F_2) أثناء النطق بالحرف المفخم



و تظهر لنا الدراسة نفسها مثلما هو موضح في الصورة ارتفاع قيمة البنانية الصوتية (F_1) وانخفاض قيمة البنانية الصوتية (F_2) بوجود حرف مفخم في كلمة [صيف] في الصورة (أ) مقارنة بنطق الكلمة غير المفخمة [سيف] في الصورة (ب).

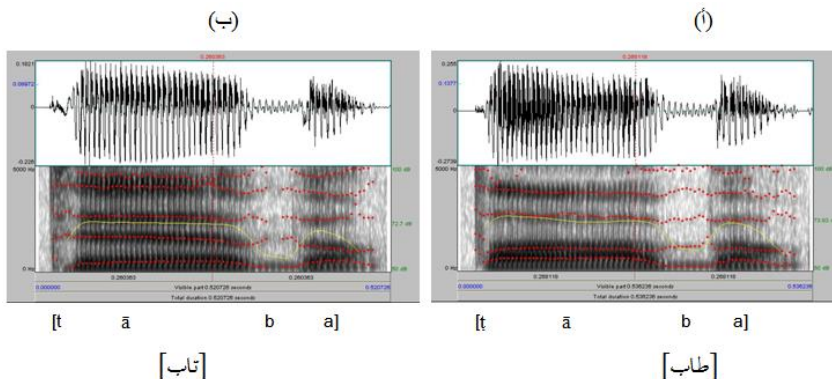
الشكل 11: مقارنة مستوى البواني الصوتية أثناء النطق بالكلمة [صيف] والكلمة المقابلة [سيف]



يظهر لنا (الشكل 12) الفرق بين مستويات البواني الصوتية (F_1) و (F_2) التي تدرس ما يحدث للصوت عند مروره عبر التجويف الحلقي والتجويف الفموي لجهاز

النطق. ونلاحظ ارتفاعا لمستوى (F_1) وانخفاضا لملموسا لمستوى (F_2) أثناء النطق بالكلمة التي تحتوي على الحرف المفخم [طاب] مقارنة مع نطق كلمة [تاب].

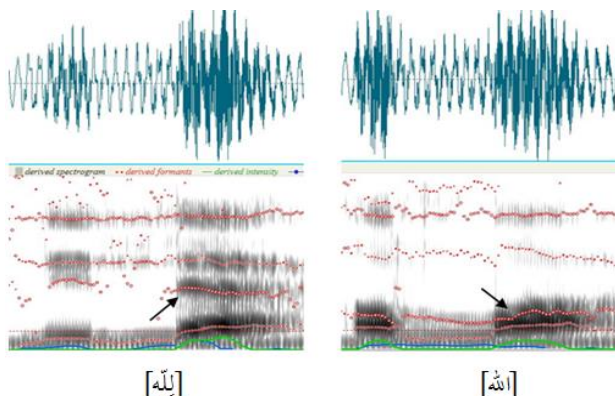
الشكل 12: الشكل الطيفي لنطق الكلمة [طاب] مقارنة مع نطق الكلمة [تاب]



- حالة اللام المفخمة

تبين من الدراسة الصوتية لصوت التفخيم في كلمة [الله] أن البانية الصوتية (F_1) ذات مستوى مرتفع، والبانبة الصوتية (F_2) ذات مستوى منخفض (الشكل 13)، وهي من سمات الحروف المفخمة.

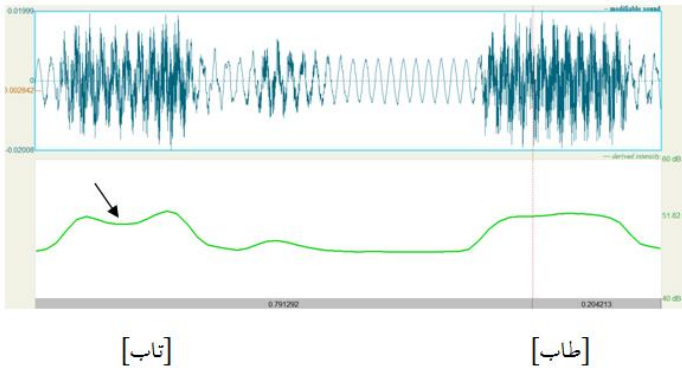
الشكل 13: مظهر البواني الصوتية مع تقارب مستويات البواني الصوتية (F_1) و (F_2) في وجود اللام المفخمة وتباعدها في حالة اللام المرققة



- شدة الصوت

نلاحظ في (الشكل 14) أن مستوى الشدة مرتفع نسبياً أثناء النطق بالحرف المفخم في كلمة [طاب] مقارنة بمستوى الشدة أثناء النطق بالحرف غير المفخم في كلمة [تاب]، ولذلك نلاحظ في هذه التجربة التي قابلنا فيها الحرف المفخم [ط] بمقابلته المرقق [ت] أن مستوى الشدة أو الطاقة التي يستعين بها الحرف [ط] أثناء النطق معتبرة مقارنة بما يتطلبه الحرف [ت].

الشكل 14: سعة الشدة عند النطق بكلمة [طاب] مقارنة مع نطق الكلمة [تاب]



- الانتشار التدريجي (الأمامي) والرجعي (الخلفي) للتفخيم

لدراسة الانتشار التدريجي (الأمامي) والرجعي (الخلفي) لظاهرة التفخيم داخل فعل كلامي (act of speech) اقتصرنا على دراسة محدودة لتسليط الضوء على هذا الانتشار التدريجي والرجعي للتفخيم حيث تتضمن المدونة المختارة مقابلات مفخمة/غير مفخمة في الكلمات والجمل. يظهر لنا (الجدول 1) قيم البواني الصوتية الخاصة بالحركات المجاورة للحرف المفخم.

الجدول رقم 1: قيم البواني الصوتية لبعض المقابلات مفخمة/غير مفخمة وحسب الحركة التي تتبع الحرف المفخّم

الكلمة	الحركة وضعية المجاورة	F ₁	F ₂	F ₃
[tāba]	Vp	420	1800	268 0
	Vs	520	1320	244 0
[ṭāba]	Vp	680	1040	264 0
	Vs	520	1040	240 0
[ṣanaʕa]	Vp	560	1340	256 0
	Vs	600	1040	248 0
[ṣināʕa]	Vp	480	1840	248 0
	Vs	840	1200	240 0
[Tagaṣṣaba]	Vp ₁	560	1240	236 0
	Vp ₂	600	920	216 0
	Vs ₁	520	1000	244 0
	Vs ₂	560	1160	232 0

[Tagassaba]	V_{p_1}	520	1480	236 0
	V_{p_2}	520	1240	224 0
	V_{s_1}	440	1600	260 0
	V_{s_2}	480	1280	232 0
[yaşümūna]	V_{p_1}	320	1840	256 0
	V_{s_1}	320	1440	236 0
	V_{s_2}	280	600	248 0
	V_{s_3}	400	1440	236 0
[yasümūna]	V_{p_1}	520	1280	- 0
	V_{s_1}	400	800	228 0
	V_{s_2}	400	580	228 0
	V_{s_3}	440	1400	244 0

الجدول رقم 2: تأثير التفخيم على قيم البواني الصوتية للأصوات المجاورة

[qawiy] (isolated)	vowel [a]	480	1280	232 0
[ṣīni qawiy]	Same vowel	480	1280	232 0
[ṣuni&a]	vow. [i]	360	1680	236 0
[ṣāni&]	Vow. [i]	400	1840	252 0

- مفاتيح بيانية لقراءة الجداول السابقة

F_3 ، F_2 ، F_1 : البواني الصوتية المعبر عنها بوحدة الهرتز (Hz):

V_p : الحركة السابقة المجاورة للحرف المفخم؛

V_s : الحركة التالية المجاورة للحرف المفخم؛

V_{p1} : الحركة السابقة المجاورة للحرف المفخم والأقرب إلى الحرف المفخم/

غير المفخم.

V_{s1} : الحركة التالية المجاورة للحرف المفخم والأقرب إلى الحرف المفخم/

غير المفخم.

وعليه تُظهر لنا هذه النتائج أن هناك بالفعل تأثيرًا أكوستيكيًا (سمعيًا) ملموسًا في الأصوات المجاورة للصوت المفخم. ونستنتج من ذلك الوجود الحقيقي لتأثير حركة التفخيم في الأصوات المجاورة وذلك عن طريق انتشار تقديمي (أمامي) ورجعي (خلفي). وعلاوة على ذلك فإن الجملة المختارة من المجموعة كافية لتبين لنا إمكانية انتشار ظاهرة التفخيم في سياقات محددة خارج حدود الكلمة (وصول الانتشار للكلمات المجاورة)، خاصة أثناء النطق السريع. كما تبين لنا هذه الدراسة الفيزيائية أن الحركات (الصوائت) العربية [a] و [u] تعزز انتشار التفخيم وتدعمه عكس الحركة [i]. وزيادة على ذلك، فعندما نأخذ الحركات القصيرة والطويلة في السياق نفسه تكون درجة التفخيم للأصوات المجاورة في حال وجود حركة قصيرة أكبر من

درجة التفخيم في حال وجود حركة طويلة، ولذلك فإن المدة الزمنية للحركة تؤثر في انتشار التفخيم فكلما كانت معتبرة قلّت من انتشار التفخيم للحروف المجاورة داخل الكلمة.

3. تحليل النتائج

نستنتج من التحليل الفيزيائي للحروف المفخمة والانتقالات أثناء النطق إلى الحركات التالية ارتفاعاً في البانية الصوتية الأولى (F_1) وانخفاضاً في البانية الصوتية الثانية (F_2). ويمكننا تفسير ذلك بالقاعدة الفيزيائية الآتية: كلما اتسع تجويف الرنين (resonant cavity) انخفضت قيمة التردد الرنيني المرتبط بالتجويف، والعكس صحيح؛ فأتثناء التفخيم تؤدي الحركة الخلفية لجذر اللسان نحو التجويف الحلقي إلى تقليص في حجمه، ونتيجة لذلك زيادة في قيمة التردد الرنيني لهذا التجويف الذي يتمثل في البانية الصوتية (F_1) واتساع في حجم التجويف الفموي، وعليه ينتج انخفاض في التردد الرنيني لهذا التجويف الذي يتمثل في البانية الصوتية (F_2).

كما بينت الدراسة الفيزيائية وجود انتشار أمامي وخلفي يؤثر في الأصوات المجاورة للحرف المفخم، ويكون الانتشار أكثر حدّة عندما يتبع الحرف المفخم الحركتين العربيةتين [a] و[u] بخلاف الحركة [i]. وعلاوة على ذلك فإن الجملة المختارة من المدونة الصوتية كافية لتبين لنا إمكانية انتشار ظاهرة التفخيم في سياقات محددة خارج حدود الكلمة لاسيما في حال النطق السريع. وفي السياق نفسه تكون درجة انتشار التفخيم في حال وجود حركة قصيرة أكبر من درجة انتشار التفخيم في حال وجود حركة طويلة (حركة ممدودة)؛ ولذلك فالمدة الزمنية للحركة تؤثر بشكل ملموس في انتشار التفخيم أثناء الفعل الكلامي (act of speech).

عند دراسة شدّة الصوت لاحظنا ارتفاعاً ملموساً لقيمتها أثناء النطق بالحرف المفخم مقارنة بالحرف المرقق المقابل له؛ وهذه النتيجة مهمة جداً إذ تفسّر وتثبت ما ذهب إليه سيبويه عندما صنف الحرف [ط] ضمن الحروف المجهورة باعتبار المفهوم الذي قدمه للجهر الذي يتحدث فيه عن الإشباع وقوة الاعتماد في المخرج. فهذه التجربة التي جرت عن طريق التحليل الفيزيائي للكلام تبين بوضوح مدى قوة الاعتماد في المخرج أثناء النطق بالحرف [ط]، والقيمة العلمية لتفسير سيبويه

لمخارج الحروف العربية وصفاتها في زمانٍ متقدم من تاريخ الدرس الصوتي في التراث البشري.

- خاتمة

يوضح التحليل الفيزيائي باستغلال البرمجية الحاسوبية (Praat) أن هناك تطابقاً واتفاقاً بين التفسير الذي قدّمه النحاة العرب القدماء لظاهرة التفخيم والنتائج المتحصّل عليها عبر الدراسات المعاصرة والتحليل الفيزيائي للكلام؛ فهما يتفقان على الدور الرئيسي الذي يلعبه اللسان في نطق الحروف المفخمة ويختلفان في تفسير الظواهر الفيزيولوجية التي ترافق ظاهرة التفخيم، إذ نجد عند القدماء تفخيماً يتضمن بشكل أساسي ارتفاع الجزء الخلفي من اللسان نحو الحنك الأعلى وهو ما يسمونه بمصطلح "الاستعلاء"، واقتراب اللسان من المنطقة العليا للفم الذي ينتج منه ضغط الهواء في الفراغ الموجود بين اللسان و"غطائه" التي يتمثل في الحنك الأعلى. وبخلاف ذلك فإن التفخيم الذي يظهر في التحليل الفيزيائي يتضمن تمديد اللسان من الأمام إلى الخلف برجوع جذره إلى منطقة الحلق مع تقعر منتصف ظهره، وهو ما يؤدي إلى اتساعٍ في حجم التجويف الفموي وتقليص في حجم التجويف الحلقي وهو ما يعبر عنه فيزيائياً بانخفاض مستوى البانية الصوتية (F_2) وارتفاع مستوى البانية الصوتية (F_1). فوصف حركة جذر اللسان وهبوطه نحو الفراغ الحلقي الذي يصفه العاني في كتابه بمصطلح "التحليق" (pharyngealisation) لا نجده في تفسير النحويين القدماء ولا عند علماء التجويد لظاهرة التفخيم في اللغة العربية.

يبقى أن الهدف الأساسي من هذه الدراسة هو استخراج المؤشرات الصوتية التي تخص الحروف المفخمة، وهي المؤشرات التي تسمح لنا بتفسير العديد من الظواهر الفيزيولوجية التي تمت ملاحظتها عند التفخيم، ونذكر من بينها التغيرات التي تحدث لتجاويف الحلق والفم وحركات اللسان المختلفة، وعليه فقد تساعد تلك النتائج في تصميم أنظمة القراءة الآلية للنصوص العربية أو التركيب الاصطناعي للكلام العربي (Arabic speech synthesis) أي التحويل الآلي للنصوص العربية المكتوبة إلى كلام منطوق والتعرف الآلي على الكلام العربي أي التحويل الآلي للكلام العربي إلى نصوص عربية مكتوبة (recognition Arabic speech)¹⁵.

- الإحالات والهوامش:

¹ كمال فرات، أهمية التحليل الفيزيائي في دراسة الظواهر اللغوية واضطرابات الكلام، الملتقى الوطني حول اللسانيات العربية الحديثة، قاعة المحاضرات العامة، جامعة الجزائر 2، 21/20 نوفمبر 2017.

² سيويوه (عمرو بن عثمان بن قنبر)، الكتاب، تح وشر: عبد السلام هارون، بيروت، 1991.

³ عبد الصبور شاهين والشيخ عامر السيد عثمان، لطائف الإشارات لفنون القراءات للقسطلاني، مجلة جامعة تكريت للعلوم، 1972، ص 187.

⁴ محمد علي الخولي، الأصوات اللغوية، النظام الصوتي للغة العربية، دار الفلاح للنشر والتوزيع، الأردن، 1990.

⁵ Al-Ani H. S., Arabic Phonology- An Acoustical and Physiological Investigation, Ed Mouton, France, 1970.

⁶ Giannini A., Pettorino M., The emphatic consonants in Arabic, Giardini editori e stampatori in Pisa, Italie, 1982.

⁷ Cohen D., Statut phonologique de l'emphase en arabe, 1969, Word n° 1-2-3, pp59-69.

⁸ Ibid.

⁹ Obrecht D., Effects of the second formant on the perception of velarization consonants in the Lebanese Arabic, Ed Mouton, France, 1968.

¹⁰ Baazi K., Ferrat K., Guerti M., Etude acoustico-articulatoire de l'emphase en Arabe Standard, Colloque International en Traductologie et TAL, Université d'Oran, Algérie, 9 -11 avril 2007.

¹¹ Grammont M., Traité de Phonétique, Librairie Delagrave, Paris, 1946.

¹² Ghazeli S., La coarticulation de l'emphase en arabe, Arabica, T^{xxviii}, F²⁻³, 1982, pp251-277.

¹³ كمال فرات، أثر الصمم الخفيف على التكوين المدرسي للتلميذ الجزائري في المرحلة الابتدائية، المؤتمر العلمي الوطني حول دور أخصائي علم النفس لمدرسي في الإرشاد والمرافقة النفسية

والتربوية، بشعار: من أجل الارتقاء بالمدرسة الجزائرية، قاعة المحاضرات العامة، جامعة الجزائر2، 18 جوان 2019.

¹⁴ Boersma P., Weenink D., Praat: Doing phonetics by computer (V 6.4.01), 2023. https://www.fon.hum.uva.nl/praat/download_win.html.

¹⁵ Ferrat K., Guerti M., Classification of the Arabic Emphatic Consonants using Time Delay Neural Network, International Journal of Computer Applications, V80, n° 10, 2013, pp1-6, <https://dx.doi.org/10.5120/13894-9341>.

- قائمة المصادر والمراجع:

* المراجع باللغة العربية:

1. الخولي (محمد علي)، الأصوات اللغوية، النظام الصوتي للغة العربية، دار الفلاح للنشر والتوزيع، الأردن، 1990.
2. سيبيوه (عمرو بن عثمان بن قنبر)، الكتاب، تح وشر: عبد السلام هارون، بيروت، 1991.
3. شاهين (عبد الصبور) وعثمان (عامر السيد)، لطائف الإشارات لفنون القراءات للقسطلاني، مجلة جامعة تكريت للعلوم، 1972، ص 187.
4. فرات (كمال)، أثر الصمم الخفيف على التكوين المدرسي للتلميذ الجزائري في المرحلة الابتدائية، المؤتمر العلمي الوطني حول دور أخصائي علم النفس لمدرسي في الإرشاد والمرافقة النفسية والتربوية، بشعار: من أجل الارتقاء بالمدرسة الجزائرية، قاعة المحاضرات العامة، جامعة الجزائر 2، 18 جوان 2019.
5. فرات (كمال)، أهمية التحليل الفيزيائي في دراسة الظواهر اللغوية واضطرابات الكلام، الملتقى الوطني حول اللسانيات العربية الحديثة، قاعة المحاضرات العامة، جامعة الجزائر 2، 21/20 نوفمبر 2017.

* المراجع باللغة الأجنبية:

1. Al-Ani H. S., Arabic Phonology- An Acoustical and Physiological Investigation, Editions Mouton, France, 1970.
2. Baazi K., Ferrat K., Guerti M., Etude acoustico-articulatoire de l'emphase en Arabe Standard, Colloque International en Traductologie et TAL, Université d'Oran, Algérie, 9 -11 avril 2007.
3. Boersma P., Weenink D., Praat: Doing phonetics by computer (Version 6.4.01), 2023.
https://www.fon.hum.uva.nl/praat/download_win.html.

4. Cohen D., Statut phonologique de l'emphase en arabe, 1969, Word n° 1-2-3.
5. Ghazeli S., La coarticulation de l'emphase en arabe, Arabica, Tome XXVIII, Fascicule 2-3, 1982.
6. Giannini A., Pettorino M., The emphatic consonants in Arabic, Giardini editori e stampatori in Pisa, Italie, 1982.
7. Grammont M., Traité de Phonétique, Librairie Delagrave, Paris, 1946.
8. Ferrat K., Guerti M., Classification of the Arabic Emphatic Consonants using Time Delay Neural Network, International Journal of Computer Applications, Volume 80, number 10, 2013, <https://dx.doi.org/10.5120/13894-9341>.
9. Obrecht D., Effects of the second formant on the perception of velarization consonants in the Lebanese Arabic, Editions Mouton, France, 1968.