

ملخص محاضرات مادة: المعالجة الآلية للكلام

إعداد وتقديم : الأستاذ الدكتور ابراهيمي بوداود

ماستر 1: لسانيات عامة

السنة الجامعية : 2021-2022

تنهض مناويل الاشتغال في مجال المعالجة الآلية للكلام على مخرجات الدرس الفونيطيقي في جانبها الفيزيائي الأكوستيكي الذي يعنى بدراسة فيزياء الظاهرة الصوتية بشكل عام، الذي يهتم بتتبع وملاحظة هيئات الذبذبات الصوتية التي تنتقل من جهاز النطق إلى جهاز الاستقبال، ويركز على انتقال الموجات الصوتية عبر قناة الاتصال بين المتكلمين، وقد توصل علماء الأصوات إلى نتائج مذهلة في هذا المجال انعكست بشكل إيجابي على وسائل الاتصال المعاصرة.

ويتبنين الجانب الفيزيائي في دراسة الصوت والمعالجة الآلية للكلام، في حقلي علم الأصوات النطقي وعلم الأصوات السمعي، حيث كان لتقدم العلوم التي عنيت بالمادة بفروعها المختلفة، فضل تعريف اللغويين بكثير من خواص الأصوات وطبيعتها الفونيطيكية، ولقد تم ذلك في بداية الأمر بالاستعانة بالمتخصصين في علم الفيزياء ووسائل الاتصال الصوتي، واستمر الحال على هذا الأمر إلى أن اتضحت الأمور أمام اللغويين فاستطاعوا تحديد ميدانهم والوقوف على أبعاده المختلفة، وطوروا لأنفسهم منهجاً يتسق مع طبيعة الصوت الإنساني، وفي النهاية خصصوا لهذا الميدان اسماً مميزاً هو "علم الأصوات الأكوستيكي" نسبة إلى "أكوستيك" (Acoustique) وهو فرع من الفيزياء، ومن ثم كانت الإشارة إليه أحياناً بالمصطلح الآخر "علم الأصوات الفيزيائي" من باب إطلاق العام وإرادة الخاص.

يقوم العلم الفيزيائي بتحليل الموجات الصوتية المنتشرة في الهواء، بوصفها ناتجة عن ذبذبات ذرات الهواء في الجهاز النطقي المصاحبة لحركات أعضاء هذا الجهاز، ومعنى هذا: أن وظيفته مقصورة على تلك المرحلة الواقعة بين فم المتكلم وأذن السامع، وقد حقق علم الأصوات الفيزيائي ثورة في الدرس الصوتي، وذلك بتقديم وسائل جديدة لدراسة أصوات الكلام ووصفها.

الطبيعة الفيزيائية للصوائت العربية

تمهيد

إن التصنيف الكمي للصوائت العربية القديمة ينطلق من مسلمة أن الضمة أثقل الحركات والفتحة أخفها، فهي إلى الكسرة أقرب، وتأخذ الفتحة مكانا وسطا، وهو تصنيف يبدو منطقيا من حيث أن الضمة أثناء حدوثها في تجويف الحلق والشفيتين تميل نحو الاتساع، عكس الكسر في تضيقها للحلق.

وإذا احتكنا إلى المعيار الفيزيولوجي للصوائت العربية وحاولنا استجلاء طبيعة الفتحة في نطقها بمقارنتها مع غيرها من الحركات، وجدناها أكثر استعمالا وذلك أن الفتحة القصيرة، أو الفتحة الطويلة، وهي الألف لا تكلف الناطق إلا إرسال النفس حرا، وترك مسرد الهواء أثناء النطق من دون عناء ولا تكلف.

كما أن الصوائت تأخذ صفات فيزيائية أخرى، يملها تجاور الأصوات داخل السياق الكلامي، فالفتحة قد تكون مفخمة وقد تكون مرققة وقد تكون بين التفخيم والترقيق على نحو صبر، سبر، قَبْر وهذا الشيء نفسه يطبق على الكسرة والضمة (الطويلة والقصيرة)، فهما مفخمتان مع أصوات الإطباق وبين التفخيم والترقيق مع (القاف والغين والخاء)، ولكنهما مرققتان مع الأصوات الأخرى، وبعملية حسابية، ندرك أن الصوائت تحمل ثمانية عشرة صوتا، وكل صوت بكمية مستقل بها.

وقد اكتفى المحدثون ههنا بوضع مقارنات بين هذه التفرعات للحركة العربية مع نظيراتها المعيارية التي صنفها دانيال جونس، علما أن التصنيف أو المقارنة المطروحة لم تكن تخص الجانب الكمي للحركات، بل كانت مقاربات نطقية مع الحركات المعيارية في اللغات الأخرى (VOIELLES). وتجدر الإشارة إلى أن التصنيف النطقي للحركات المعيارية كان أكثر تركيزا على وضع اللسان في كل حركة، رغم أن الحركة قد تُشرك أعضاء أخرى في الحلق والتجويف الفموي (الوتران، الحنك، والأسنان)، ويمكن استنباط ذلك من تعريفات هذه الحركات المعيارية، وهي على النحو التالي:

[a] الحركة الأمامية المفتوحة غير المدورة

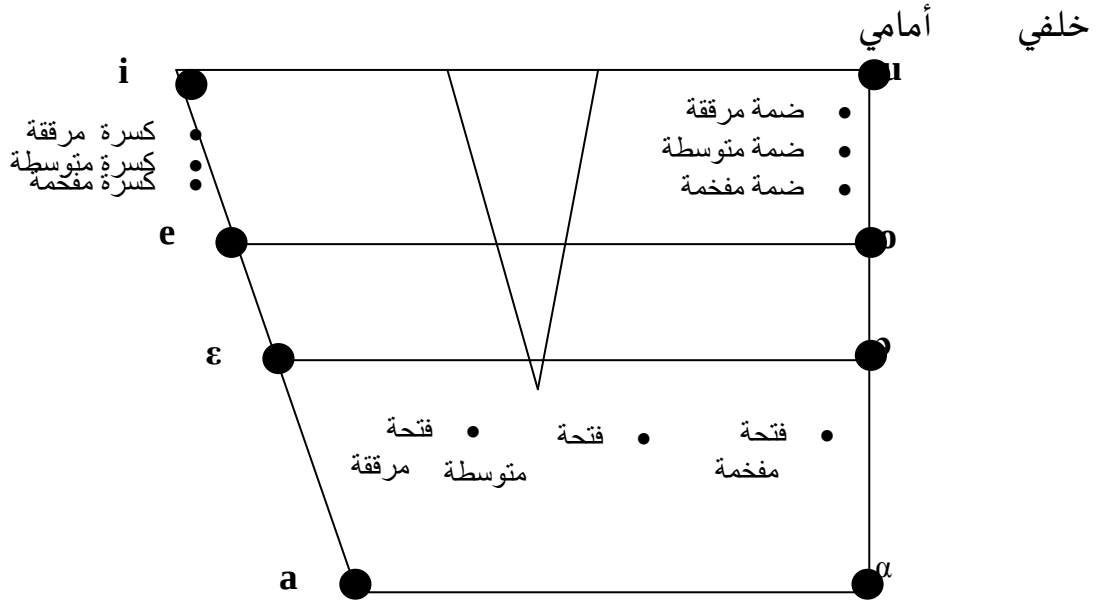
[i] الحركة الأمامية المغلقة غير المدورة.

[e] الحركة الأمامية نصف المغلقة غير المدورة

[u] الحركة الخلفية المغلقة المدورة

[ɛ] الحركة الأمامية نصف المفتوحة غير المدورة

[α] الحركة الخلفية المفتوحة غير الممدودة
 [ə] الحركة الخلفية نصف المفتوحة المدورة
 [o] الحركة الخلفية نصف المغلقة المدورة
 وهي تتوزع في التمثيل الخماسي (الشكل 3) بحسب تموقعها أثناء النطق .



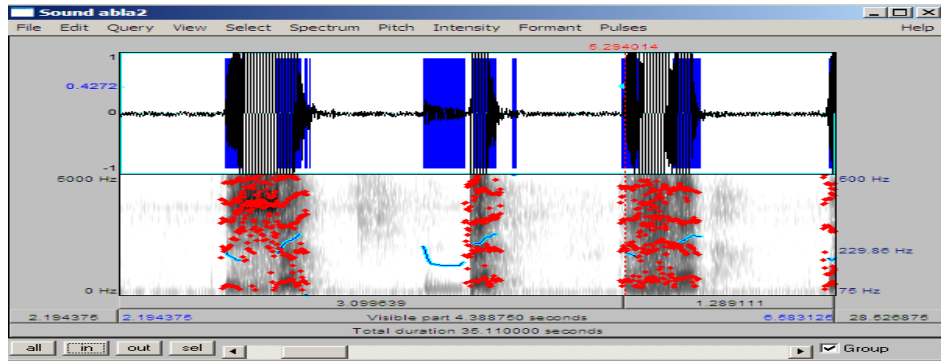
رسم إيضاحي يبين مقارنة الحركات العربية مع الحركات المعيارية²

وكما يظهر في هذا الرسم، فإن الحركات العربية تأخذ وضعيات مختلفة داخل لخماسي الذي يمثل اللسان، فنسجل أن الفتحة المرققة هي حركة نصف متسعة، وأن الفتحة المفخمة هي حركة بين المتسعة ونصف المتسعة، مع مقاربتهم بالحركة المعيارية [a]، أما الضمة فهي تقارب الحركة المعيارية [u]، أما الكسرة فهي مقارنة للحركة المعيارية [i].

والواضح مما سبق أن تصنيف مقاربات الحركات العربية تحدد، وفق التشابه النطقي والسمعي الحاصل مع الحركات المعيارية، بيد أنه كان يجب مراعاة الفوارق الكمية الحاصلة بين الحركات، والتي هي فوارق في كمية الهواء الصادرة عند النطق، غير أنه كان من الأصح الأخذ بالاعتبار صفات جوهرية وهامة يمكن أن تحدد ماهية الفيزيائية للحركة العربية .

ولعل أهمها أن الحركات العربية هي أصوات مجهورة، أي أنها تكتسب درجة صوت أعلى من الصوامت، والاختلاف الكمي بين الفتحة والضمة والكسرة يصنف بوصفين أساسيين هما: اختلاف في الاتساع والامتداد، وإذا كان الامتداد يحدده عامل الزمن، فإن درجة الاتساع هي اختلاف في درجة الانفراج الحاصل في القناة الصوتية عند النطق بكل حركة.

وبما أن البرنامج الحاسوبي المتوفر لدينا يمكننا من فصل الصائت عن الصامت الملازم له، فإننا بهذا نستطيع تبيان الفروق الحاصلة في كميات الشدة والتوتر للحركات العربية، وهما الأبعاد المحددان للقيم المطلقة الخاصة بعامل الثقل لكل الحركات الثماني عشر، حين يقوم البرنامج بتهشير قيمة الحركة Voielle بلون مغاير داخل السبكتروغرام الرقمي. وما علينا إلا التجريب على المقاطع الصوتية تشكل اختلافات في تفرعات الحركة العربية بحسب تموقعها داخل المقطع، كأن نقرأ شدة الضمة المرققة من مقطع سُلّ، وفتحة مفخمة من مقطع ضرب، وكسرة متوسطة من مقطع سيم. ولنا أن نقدم نموذجاً لذلك قبل التفصيل فيه في الفصل التطبيقي، لتكون على النحو التالي:



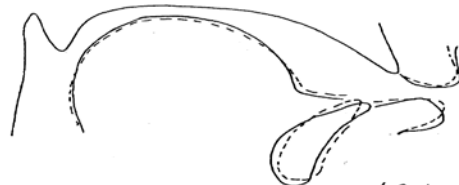
إن الصورة الموضحة هي للبرنامج المعتمد في الفصل التطبيقي، حيث يبرز تمثيلات السبكتروغرام الرقمي spectrogramme التي تظهرها الشاشة في قسمين: الأعلى وهو للمنحنيات البيانية العازلة، فكل جزء مهشّر هو للصائت مهما كان نوعه قصيراً، أو طويلاً، ضم، كسر، أو فتح، ويمكن من خلاله تصنيف القيمة المطلقة للصائت وهي التي تظهر في القسم الأعلى من الشاشة على شكل موجة شديدة السواد، أما الجزء المهشّر فهي كمية الصائت المصاحبة للصائت [ج]، والتي تمثل هنا المادة [آ]، ولو قمنا بتحديد الجزء المهشّر بتحريك مؤشر الحاسب من بداية التهشير إلى نهايته، سنحصل على قراءة مباشرة قراءة للزمن في الأعلى، وذلك بالنقر على نافذة *PITCH* وعلى نافذة *INTENSITY*

(الشكل 9) أوضاع اللسان والحجرات الرنينية أثناء النطق بالحركات



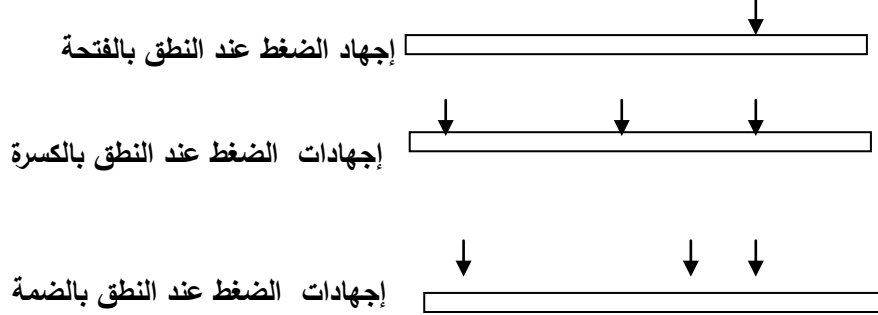
وضع اللسان والحجرات الرنينية أثناء النطق بحركتي
الخفض القصيرة والطويلة //

وضع اللسان والحجرات الرنينية أثناء النطق بحركتي
النصب القصيرة والطويلة //



وضع اللسان والحجرات الرنينية أثناء النطق بحركتي
الرفع القصيرة والطويلة //

الشكل يمثل قوى الضغط في التجاويف أثناء النطق بالحركة



إن الشكل المثبت أعلاه، يُظهر توزعا تمثيليا لكميات الضغط على القناة الصوتية، في الحالات الثلاث للنطق بالحركة، إذ نستشف من خلال هذه الرسوم كمية الضغط في الفتحة التي تقع على نقطة واحدة (التجويف الحنجري)، مما ينتج عنه ضغط نسبي على القناة، على هذا الأساس، طبق علماء اللغة على أن الفتحة أقل الحركات جهدا في الأداء مقارنة بحركتي الضمة والكسرة، فإذا « جمعت الفتحة بين الخفة في الأداء، والحياد في الوظيفة، كانت عوناً لكل ناطق، وسندا لكل معبر وهو إقرار علمي يتكئ بالاطمئنان على سند مخبري من شأنه يعضد من ثوابت الطرح الصوتي القديم، بينما تتخذ الكسرة وضعية ثلاثية الأبعاد تمتد على مساحة التجويف متنقلة بين الأسنان والشفتان، لتستقر الضمة على القسم الأكبر من التجويف المتموقع أمام اللسان، ولن يتأتى لنا إدراك فوارق القوى الحاصلة على هذه الحركات.

الطبيعة الفيزيائية للصوامت العربية

تمهيد

إن أبسط التعاريف لمصطلح الصامت، تُقرّ أنه الصوت الذي يزاوج الحركة، ويتعذر نطقه بدونها. والعرب في دراستهم اللغوية أعاروا للصامات اهتماما أكثر مما أعاروه للصائت، معتبرين الصامت جوهرًا والصائت عرضًا، مرجحين بذلك الجانب المادي على الروحي وكأنهم أدركوا أن استنباط الخواص الفيزيائية لجسم ما لن تتأتى إلا من خلال معرفة الأبعاد الملموسة لا المحسوسة لذات الجسم.

وقد تفتن العرب القدامى لهذه المسئلة، وحاولوا دراسة صفات الصامت، معتمدين على قوة الملاحظة من خلال متابعة حركية الصامت، بدءًا من تكوّنه وصدوره، وصولًا إلى الأثر الذي يحدثه في أذن المستقبل، وهو ما مكّنه من استخلاص فروق رئيسة، وأخرى ثانوية، جاءت متقابلة ومتناظرة، على نحو الجهر والهمس، الشدة والرخاوة.

وتعارف أغلب اللغويين القدامى، ومنهم ابن جني على تقسيم رئيس، وهو أن الصوت إما أن يكون مجهورًا أو مهموسًا، والجهر عندهم هو صفة للحرف الذي أشيع الاعتماد من موضعه، ومنع النفس أن يجري معه، حتى ينقضي الاعتماد، ويجري الصوت ومردّه في ذلك أنه يتم تجميع لكمية من الهواء المندفع من الرئتين، ليتم إصدارها دفعة واحدة محدثًا لدرجة عليا من الصوت. أما الهمس فهو صفة لحرف أضعف الاعتماد من موضعه حتى يجري معه النفس، وهي حركية مناظرة لسابقتها في الجهر، حيث يفتح مجال سماح لمرور كمية من الهواء بالتوازي مع صدور الحرف.

إلا أن هناك من المحدثين، من يقف على النقيض من ذلك، ويعتبر أن القراءة التحليلية للتراث الصوتي العربي، قد تأثرت إلى حد كبير بثقافة أخرى، وحُدس علمي مغاير تمامًا، لما داب عليه عرب القرون الإسلامية الأولى، والحقيقة أن الجهر والهمس عند علماء الغرب مبنيان على دور الحبلين الصوتيين، وعلاقتهما بالتجويف الحنجري، في حين أن العرب بنوا نظريتهم على مفهوم الريح، والنفس والهواء " فالدراسة الصوتية الحديثة أثبتت أن الجهر والهمس *sourdité* , *Sonorité* هما ظاهرتان صوتيتان محكومتان بعامل اهتزاز الوترين الصوتيين، نتيجة اندفاع الهواء الصادر من الرئتين، بقوة في حالة الجهر، وضعف في حالة الهمس.

والحقيقة الفيزيولوجية تثبت أن الهمس هو تباعد أو انفراج الوترين الصوتيين بصورة تسمح لتيار الهواء الصادر من الرئتين بالمرور من خلال التجويف الحلقي دون اعتراض، ونسبي الأصوات

النتيجة عن هذا الوضع بالأصوات voicelesse. والمهموسة هي (التاء، الثاء، الحاء، الخاء، السين، الشين، الصاد، الفاء، الكاف، الهاء).

والحقيقية الفيزيولوجية ذاتها تثبت أن الصوت المجهور، إذاً هو الذي يهتز معه الوتران الصوتيان، ويمكن للمتكلم أن يحس به لوراعى أن يسد أذنيه عند النطق بالصوت المجهور، فإنه حينئذ يسمع الرنين، الذي تنشره الذبذبات الحنجرية في تجاويف الرأس، ويمكن أن يحس به كذلك إذا وضع أصبعه فوق تفاحة آدم، ثم نطق بالصوت، فإنه حينئذ يحس باهتزازات الوترين الصوتيين، وههنا ندرك أن الصوت المجهور، ينتج عنه تردد أعلى من الذي ينتج عن نظيره المهموس، بحكم خفته.

والقاعدة الفيزيولوجية تفسر ظاهرة الجهر بأن انقباض فتحة المزمار وانبساطها يقوم بها المرء في أثناء حديثه، دون أن يشعر بها في معظم الأحيان، وحين تنقبض فتحة المزمار يقترب الوتران الصوتيان أحدهما من الآخر فتضيق فتحة المزمار ولكنها تظل تسمح بمرور النفس خلالها فإذا اندفع الهواء خلال الوترين وهما في هذا الوضع يهتزان اهتزاز منتظما، ويحدثان صوتا موسيقيا تختلف درجته حسب عدد الهزات أو الذبذبات في الثانية، (ينظر الشكل 1-5، 2-5، 3-5)



1-5pharyngeal صورة لسان المزمار



1-5velopharyngeal صورة الفتحة الحنكالية



1-5Glottal صورة المزمار

إن الصور الثلاث ملتقطة بواسطة المجهر الحنجري، وتمثل الوضعيات التي يأخذها المزمار أثناء النطق بصامت العين مفتوح [ع]، وهو صامت مجهور، والصورة 2-5 توضح فتحة لسان المزمار أثناء انقباضها وفجوات أخرى تسمح بمرور كمية من الهواء نحو الوترين الصوتين، والتي تتسبب في إحداث هزات وذبذبات مختلفة محددة لدرجة علو الصوت.

وإذا كانت النظرية الفيزيائية في الحركة الجيبية تنص على أن الجسم الثقيل، يتذبذب بحالة أبطأ من الجسم الخفيفة، والكتلة الكبيرة تتذبذب بشكل أبطأ من الكتلة الصغيرة أو المحصورة، والأوتار الطويلة تتذبذب بحالة أبطأ من الأوتار القصيرة، فالأصوات المجهورة هي الأخف وقعا على الوتران الصوتيان، والمهموسة أثقل.

والأصوات المجهورة بحسب الواقع الصوتي الحديث هي (الباء، الجيم، الدال، الذال، الراء، الزاي، الضاد، الظاء، العين، الغين، اللام، الميم، النون، الواو، الباء) والتصنيف هذا ينقص الطاء، والقاف، والهمزة من الجهر المعتاد، وهي صوامت وقع الاختلاف فيما بين أصوات الجهر أو الهمس.

وينقسم الصوت اللغوي إلى انقسامات ثانوية، تتراوح بين الشدة والرخاوة والاعتدال بينهما، فالشديدة ثمانية أحرف، وهي: الهمزة، والقاف، والكاف، والجيم، والطاء، والذال والتاء، ومعنى الشديد: أنه الحرف الذي يمنع الصوت من أن يجري فيه، فينحبس انحباسا تاما، عند موضع حدوثه، مما يؤدي إلى ضغط هوائي لمدة من الزمن، ثم ينفرج المجرى الهوائي فجأة ليفسح المجال للهواء المضغوط، فيندفع بقوة محدثا صوتا انفجاريا *plosive*.

والشديد هو مصطلح أطلقه المحدثون على هذا النوع من الأصوات حيث ذهبوا إلى أن الصوت الانفجاري يتكون من حبس (وقف)، وإطلاق، وصوت يتبع الإطلاق، ومآله في ذلك أن الصوت الانفجاري يمر بمرحلتين "يتوقف تيار الهواء هيمية في المرحلة الأولى، ثم تتم عملية الانفجار، متمثلة في إرسال تيار الهواء ثانية وهذا الاندفاع من شأنه أن يصنع انفجارا صوتيا .

ولا خلاف إذاً بين الشديد والانفجاري، والصفة التي تجمع بينها هي انحباس الهواء معها عند مخرج كل منها انحباسا لا يسمح بمروره متى ينفصل العضوان فجأة ويحث النفس صوتا انفجاريا إلا أننا نفضل استعمال مصطلح الشدة، لأنه يتماثل تماما، اصطلاحا واستعمالا، مع عامل الشدة الفيزيائي *intensité* والذي سنعتمده في الحقل التجريبي.

أما الصوت الرخو، فيقابل الشديد إذ يجري فيه الصوت، محتكا بالمجرى الهوائي، الذي ينسدّ انسدادا جزئيا، نتيجة لضيقه، مما يسمح للهواء بالتسرب محدثا نوعا من الصفيّر أو الحفيف تختلف نسبته تبعا لنسبة ضيق المجرى، ولهذا يسميها المحدثون بالأصوات الاحتكاكية، *fricatives* وتتكون هذه الأصوات عندما يضيق مجرى تيار الهواء الصادر من الرئتين، في موضع من مواضع بحيث يحدث الهواء في خروجه احتكاكا مسموعا، كما نرى في نطق الفاء بين الشفة السفلى والأسنان العليا والتاء في مخرجها بين الأسنان ، وما من شك أن هذه الأصوات ذات شدة أقل من نظيرتها الانفجارية.

والأصوات الرخوة في اللغة العربية كما تبرهن عليها التجارب الحديثة هي مرتبة حسب نسبة رخاوتها (س، ز، ص، ش، ذ، ث، ظ، ف، هـ، ح، خ) ومعنى هذا أن صامت السين والمصنف في المرتبة الأولى، تكون شدته بأي حال، أقل من أي صامت شديد يصنف في المرتبة الأخيرة بقيمة دنيا، وهو أمر نبدي تحفظا فيه لأن ابراهيم أنيس لم يوضح الطريقة المعتمدة في هذا التصنيف. أما المتوسطة، فهي باقي الأصوات بين الشدة والرخاوة، وهي مجموعة الصوامت المتكونة من (اللام، العين، الميم، الياء، الراء، الواو، النون، والألف). وفي وصف اللغويين لهذه الصوامت بالاعتدال، دلالة على عجزهم الجزم في كنهها الفيزيائي ففضلوا جمعها في خانة حيادية.

إضافة إلى هذا، فقد تنبه الباحثون إلى أن التصنيفات الأساسية والثانوية، والتي تقوم على نظام ثنائي تقابلي، لا تفي بغرض التصنيف كاملا، حيث أنه يقع التصنيف في حالات تتشابه وتتطابق تماما، وهو أمر من شأنه أن يبقى على حالة الغموض في التمييز بين الصامت والآخر، على نحو صامت [الباء] وهو مجهور شديد، و[الدال] مجهور شديد. وهو ما دفع إلى وضع صفات مُميزة، والتي بُستعان بها عادة عندما يتداخل صوتان، ويلتقيان في الموقعية والصفات الأساسية والثانوية، حتى يصبحا متماثلين، واصطلح عليهما بالصفات الفارقة.

ورغم أن هذه التصنيفات الفيزيائية للصامت قد بُنيت على الملاحظة سواء البصرية أم السمعية، فهي تشكل منطلقا نظريا إيجابيا، يساعد على طرح فرضيات قوية، حيث أنها بصيغة أو أخرى قد فرقّت بين عامل الاهتزاز *la fréquence* في تمثيله لثنائية الجهر والهمس، وبين عامل الشدة *intensité* في تمثيله لعامل الشدة والرخاوة. وتفيد بأن المجهور قد يكون أعلى ترددا من المهموس، وأن الانفجاري الشديد أعلى شدة من الاحتكاكي الرخو، وهناك من برهن نظريا على أن شدة الأصوات المهموسة وهي (الكاف، والتاء)، أقل من شدة الأصوات المجهورة، ليس من الناحية النطقية المجردة وحسب، وإنما هي ذلك من الناحية الفيزيائية.

الكميات الواصفة للأصوات اللغوية

تهديد

تؤدي الأجسام المزاحة حركة ترددية أثناء انتقالها في الوسط الطبيعي، حيث تأخذ منحى تناوبيا إثر ردة فعل المقاومة وضغط الهواء، ويُظهر لنا تمثيلها الضوئي شكلا تموجيا، يتبدل بحسب قوة الدفع ونوع الجسم المهتز، وكذا الوسط. ومن هنا، فإن قراءة خصائص الموجة في تمثيلها الضوئي يؤدي إلى مجموعة من الإدراكات، تخص الأبعاد الفيزيائية للجسم المتحرك. ولا يختلف حال الموجة الصوتية، عن باقي الحركات الاهتزازية، فقد كشف علماء الفيزياء أن الشكل التموجي الذي تؤديه حركة الصوت، هو مقياس أكوستيكي يسم نوعية الصوت، أي أن لكل نوع من أنواع الصوت في الطبيعة شكل تمثيلي ينماز به.

أنواع الأمواج الصوتية

وقد أدّت هذه الحقيقة إلى حصر تلك الأنواع من الأمواج الصوتية على النحو الآتي:

الموجات المنتظمة البسيطة *sine wave*

الموجات المركبة *complex wave*

الموجات غير المنتظمة *random/aperiodic noise*

جاءت الموجات المركبة تمثيلا لنوع الصوت الذي يصدره الإنسان، بما في ذلك الصوت اللغوي، فهذه الأمواج « قد تكون دورية أو غير دورية » والمقصود بالدور هنا هو الزمن المنتظم الذي تؤديه حركة الصوت في كل دورة اهتزازية. (ينظر الشكل)، أما عدد الدورات والترددات، فتحده التركيب العضوية للجهاز النطقي، حيث أن الاختلافات الفيزيولوجية في طول وسمك الوترين الصوتيين، وطبيعة الشد فيهما، تمثل عاملا رئيسا في تحديد كم الهزات المُولدة، كما أن قراءات السعة ومقدار الاهتزاز هي قيم تمكننا من استخراج الأبعاد التي تخص درجة وعلو الصوت وشدته.

الشدة: *INTENSITY*

وهي العامل أو «الصفة التي تميز بها الأذن الأصوات من حيث القوة والضعف أو العلو والانخفاض، وتتوقف شدة الصوت بهذا المفهوم على قوة القرع أو الطرق للجسم المصوت لأن قوة القرع تؤدي إلى حركة قوية تحدث اضطرابا قويا في الهواء، تسمعه الأذن بقوة ووضوح، وحينئذ نصف الصوت بالعلو، ومعنى هذا، أن الشدة هي قوة الصوت التي تشحنها كميته، بعد تكونه وحدوثه.

وبتعبير آخر هي الطاقة الكامنة في الصوت، أو «الصفة التي تميز بها الأذن الأصوات من حيث القوة والضعف، والعلو والانخفاض» والتي من شأنها أن تنتقل إلى أذن المتلقي والتي ستلتقطها الطبلية، وهي

تقع بين حدين، حد أقصى لا تستطيع الأذن تحمل أكثر منه، وحد أدنى لا تستطيع الأذن التقاطه، أي أن الأذن البشرية تشغل في مجال سمعي محدد، تتراوح قيمته من الأدنى إلى الأعلى ما بين $10/1$ واط/سم² و $10/1$ واط/سم² ولضبط مختلف المجالات الصوتية المتواجدة في الطبيعة والتي تتعدد مصادرها، فكر علماء الأصوات في اعتماد طريقة المقارنة بين الأصوات، أو قياس صوت بدلالة صوت آخر، حيث نجد أن وحدة القياس ديسبل Db ما هي إلا مقارنات بين شدة صوت وأخرى نحدد من خلالها حدا أدنى للصوت وحدا أعلى له.

وقد تكون هي نفس الطرق المعتمدة عند القدامى، أي مقارنة صوت بآخر، ووصف الأصوات اللغوية بالتمييز فيما بينها. فالمفخم، هو مفخم تمييزا على المرقق والعكس كذلك، فالصاد تقابلها السين، و الطاء تقابلها التاء، والذي ليس له ضد فهو حيادي أو متوسط.

درجة الصوت PITCH

تُعد هذه الظاهرة الخاصة الثانية المحددة لكمية الصوت، وهي «التي تميز بها الأذن الأصوات من حيث الحدة والغلظة، وتتوقف درجة الصوت بهذا المفهوم على عدد الاهتزازات أو الذبذبات التي يصدرها الجسم المصوت في الثانية وهو ما يسمى بالتردد. فإذا زاد عدد الذبذبات في الثانية، كان الصوت حادا دقيقا. وإذا قل عدد الذبذبات كان الصوت غليظا أو سميكاً» وأخذت هذه الخاصية تسميات عدة، عند علماء الصوت والفيزياء، كالاhtزاز، والتردد والتواتر، وهي خاصية تفيد القوة والثقل.

وقد أثبتت الدراسة التشريحية أن طبيعة الصوت البشري «من غلظ ورقة (*voix aigue*) و *voix bas*) وتبدلاتها بين الذكر والأنثى، أو عند الطفل والمسن ، تعود أساسا إلى الطبيعة الفيزيولوجية للوترين الصوتين». فقد أثبتت التجارب أن الوترين السميكين أو القصيرين أو المرتخيين، تصدر عددا من ذبذبات أقل من عدد الذبذبات الصادرة من وترين أقل سمكا أو طويلين أو مشدودين.

ولو تأملنا في ظاهرتي الهمس والجهر التي أشار إليها اللغويون، والتي استدلوا لهما بالعامل نفسه، أي عامل اهتزاز الوترين، للاحظنا أنهم أشاروا إلى أن اختلاف الأجسام في الطبيعة يعود إلى «اختلاف أوزانها وطولها ونسب الشد في مكوناتها، وتجاويفها وكتلتها وامتدادها وشكلها وخفتها وثقلها. وعلى هذا فالجسم الثقيل يتذبذب بأقل حالة أبطأ من الجسم الخفيف» وهو ما يحيلنا في حقلنا التطبيقي إلى مقارنة ترددات الحروف المهموسة بالمجهورة، باعتبارها تتفاوت نظريا في درجة الاهتزاز والتردد. ومنه في الخفة والثقل.

أما ظاهرة النوع *Timbre*، فهي تأتي في آخر المراتب التصنيفية لخصائص الصوت، من حيث علاقتها بمفهوم كمية الثقل، ونعني بها «الخاصة أو الصفة التي تستطيع الأذن أن تميز بها الأصوات المختلفة الإنسانية وغير الإنسانية»، لأنها تخص أكثر تصنيف الأذن لنوع الصوت أو الفرق بين الأصوات الذي «ينشأ عن قابلية النغمات التوافقية، لأن تكون مسموعة، فإذا تركبت ذبذبتان ذات تردد متماثل فإن النتيجة زيادة السعة، ومن ثم يقوى الصوت، وذلك شرط أن تكون المسافة واحدة في كليهما»، وقد سماها البعض بظاهرة البصمات الصوتية.

و«إذا كنا نستطيع أن نميز بدرجة الصوت الأصوات الحادة والغليظة، وأن نميز بشدة الصوت الأصوات القوية والضعيفة، فإننا نستطيع أن نميز بين الأصوات الناتجة من مصادر مختلفة، وإن كانت هذه الأصوات تتسق في درجتها وشدتها، لأن الأذن تدرك شيئاً آخر في هذه الأصوات غير الشدة والدرجة، ونعني بذلك القيمة أو الطابع *timbre*»، ونوع الصوت اللغوي تحدده الطبيعة الفيزيولوجية لأعضاء النطق والتي تختلف من شخص لآخر.

إن تطرقنا لعوامل الشدة، والتردد، لا يعني أنها تمثل العناصر الكلية في تحديد ماهية الصوت، وإنما هي العناصر المحددة لثقل كمية الصوت، لتأتي العوامل الأخرى، كسعة، والرنين، والتنغيم، النبر، وهي عوامل لا تتعلق بكمية الصوت بالدرجة الأولى بقدر ما تتعلق بحركته، وتلواناته، وتغيراته الأكوستيكية.

فعامل السعة *Amplitude* هو «المسافة الفاصلة بين وضع التوازن وأبعد نقطة يصل إليها الصوت في حركة الجسم وهو في حالة اهتزاز»، ويمكن حسابها رياضياً من الدالة الجيبية الممثلة لتنقل الصوت في حركته الاهتزازية وتحسب بدلالة الزمن، ونبض الاهتزاز، وسرعة التنقل. أما عامل الرنين، والتنغيم فهي أبعاد تدخل في مقارنة أصوات لهما نفس درجة الصوت وعلوه وأنتجا من مصدرين مختلفتين، ليكونا موجة متداخلة *interférence*، وهي موجة لصوت مركب، «من صوت ذو تنغيم أساسي وهو المحدث للرنين *résonance* أكبر، أما النغم الثاني فهو توافقي *harmonics* وهو أقل رنيناً»، لكن محقق لحالة الانسجام الصوتي.

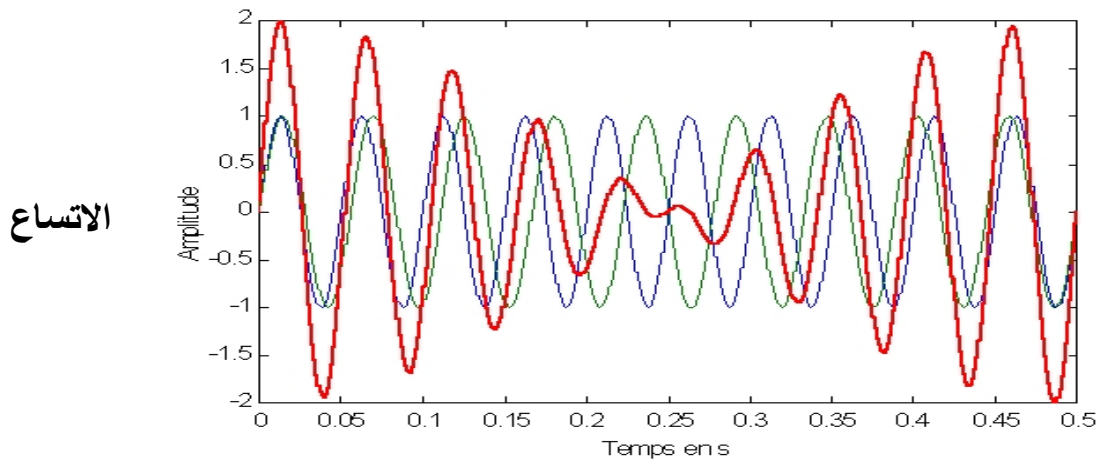
أما النبر *loudnesse* فهو العلو في درجة الصوت الذي يكتسبه فونيم صوتي داخل اللفظة، «وهو مقدار قوة على مقاطع كل لفظ»، وليس بالضرورة أن يكون هذا الفونيم مجهوراً أو ذي شدة عالية، فالبروز الذي يكتسبه داخل اللفظة يتأني بحكم موقعه بين الفونيمات المجاورة له. وبالنظر لطبيعة هذه العوامل، والتي لا تعد من المحددات المطلقة لكمية الصوت اللغوي الفيزيائية، والتي لا يمكن أن نحسب مقاديرها ودرجاتها، بالاعتماد على آلة القياس، فإننا نحاول

التركيز على البعدين الرئيسين المحددين لعامل الثقل، وهما التردد، والشدة، عن طريق القراءة الرقمية من الحاسوب.

هذه الطريقة، التي من شأنها أن تمكّنا من تجاوز عدة عقبات لاقاها المحدثون في قياساتهم للصوت اللغوي، «باستعمال الآلات الميكانيكية الإلكتروميكانيكية، مثل آلة الكيموغرافيا للألماني *Karl ludwidge*، وآلة البلاتوغرافيا للإنجليزي *ErasmusDarwine* وآلة المينوغراف، وآلة كوبر *Kooper*، وجهاز الراسم الطيفي *Spectrographe*، وقراءة النمط لمختبرات *Haskins* في أمريكا، وجهاز التحليل الطيفي»، حيث أن هذه الأجهزة كان أغلبها يؤدي غرضاً معيناً، إضافة إلى نسبة الخطأ الفيزيائي الواردة بقوة.

غير أن القياس باستعمال البرامج الحاسوبية، فهي تمكّنا من جمع وقياس كل الوسائط ذات العلاقة بثقل الصوت الملفوظ من تردد وشدة وزمن في برنامج واحد، ومن جانب آخر، فإنها تقلل من الخطأ الفيزيائي، فالقراءة الرقمية المباشرة على المنحنى (الشكل 1)، تلغي عناء الحساب الرياضي للنتائج المحصل عليها.

الشكل 1 : القراءة المباشرة للموجة الصوتية



والشكل 1 يبين نموذجاً بيانياً للموجة الصوتية العادية، التي تحسب عادة بدلالة الامتداد في المحور العمودي، وبدلالة الزمن في المحور الأفقي، والمنحنى هو عبارة عن المسار الجيبي التي تأخذها أي نقطة مادية، مكوّنة لموجات ومشكّلة لحركة ترددية يستغرق كل تردد فيها دوراً من الزمن، وكل القراءات الحاسوبية تظهر على هذا النموذج، ولا تتغير فيها إلا العوامل المحسوبة، بحسب كل برنامج، فكما يقرأ الشكل 1 عامل السعة والزمن، فإنه بالإمكان استعمال البرنامج الحسابي الذي يعمل بدلالة الشدة والاهتزاز مثل السبكتروغرام الرقمي .

أكوستيكية الصوائت العربية

تمهيد

إن البنية الصوتية للكلام هي في حقيقتها تركيب من وحدات صوتية صغرى، تأخذ في التشكل والتنامي إلى أن تتمظهر على هيئة مقاطع وأشباه جمل، وينبني هذا التشكل وفق نظامية فونولوجية يحددها العرف الصوتي، ونعني بالوحدات هنا، هي المجموعات الصوتية التي تشترك في ميزاتها الأكوستيكية والفيزيولوجية، على نحو الصوائت، والصوامت، والمقاطع. ووفق هذا الطرح جاءت الدراسات الصوتية العربية في غالبيتها مجتزأة، حيث عنيت بكل عائلة بمعزل عن الأخرى. ونعد هذا أمرا طبيعيا في باب الدراسات التجريبية، لكننا قد نختلف مع هذا الرأي، حينما نطرق باب الفونولوجيا، حيث يقف الدارس أمام ترابطات صوتية، تؤثر وتتأثر ببعضها. وههنا، لابد من التعليل لظاهرة بأخرى، والانتقال بالمعرفة من مستوى العزل إلى مستوى الجمع، فتجاهل «الاستكناهاات اللامعة المتعلقة بدور الأصوات» في السياق اللغوي لا شك أنه يحد من إدراكنا فونولوجية الصوت. كما أن الأوصاف الفيزيولوجية التي ألحقت بالصائت لم تكن كافية في الشرح والتفسير، ولم تلم بالتعليل الوافي لظواهر عدة، وهنا يغدو مطلب اللجوء إلى البراهين الفيزيائية والأكوستيكية أكثر إلحاحا، انطلاقا من فهم سليم ودقيق لطبيعة التكون الفيزيائي للصوائت العربية، وصولا إلى محاولة تلمس طبيعة العلائق الجوارية والتقابلية داخل النسق اللغوي، إذ تعرف الحركة من الناحية الأكوستيكية بأنها ظاهرة تتميز بالتغير في السرعة والطول، والتردد، مقارنة بالأصوات الأخرى» والسبب يعود إلى طبيعة منشئها، حيث يكون الممر الهوائي على مستوى الوترين حرا إلى أعلى درجة.

وقد سبق أن تطرقنا في محاضرات علم الأصوات الفيزيولوجي، إلى التبدل الفيزيولوجي الذي تأخذه حركة الوترين الصوتيين حين حدوث الحركة، وذكرنا أيضا أن التغير الفيزيائي للأمواج الصادرة يبدأ على مستوى التجويف الحلقى والفموي والأنفي، فالأمواج البسيطة التي يصدرها الوتران الصوتيان تأتي طولية ومضغوطة حاملة لخصائص أكوستيكية متفاوتة في السمة والبعد وبعد انضغاطها في المحبس الهوائي للتجويف الذي «يؤدي دور المنغم»، نتيجة لعمليتي الرنين *Résonance* والترشيح *Filtration*، وهما أهم عاملان محددان لمعالم الموجة الصوتية للصائت قبل أن تصل الحركة إلى مرحلة التكون والتشكل.

الموجة الصوتية للحركات العربية

من خلال الوصف المقدم لحدوث صوت الحركة، ندرك منطقيا أن التمثيل الموجي تميزه الأبعاد العالية القيم، فإذا كان القانون العام لموجة الصوت يحسب بدلالة طول الموجة، وقيمة

التردد، وسرعة الاهتزاز، وكذا الشدة، فإننا ندرك أنه في حالة الحركة، تكون كل هذه القيم عالية مقارنة بالصوامت، ويعود ذلك بالدرجة الأولى إلى عملية التنظيم والترشيح والتضخيم التي تحدث في الغرف الرنينية *les chambres résonateurs* بعد أن يقوم الوتران الصوتيان بإنتاج الترددات الأساس، ذلك « أن التجايف التي تعلو الحنجرة تقوم برفع شدة» وتجتمع الترددات الأساس في شكل أمواج مركبة دورية، في الحزمتين الأولى والثانية، وهي الحزم الموجية الأكثر وضوحا. ووفق هذا المعطى الأكوستيكي، فإن الصوائت « تحظى بأكبر قدر من الطاقة الأكوستيكية، والبروز في الإسماع، وعلى هذا تنطبق دائرة الصوائت وظيفيا على دائرة الأصوات الرنانة فيزيائيا «، و الرنين كما ذكرنا، ظاهرة فيزيائية بالغة التأثير على الطبيعة الأصلية للصوت، وهو ما يجعلنا نفهم أن الحس الأكوستيكي الذي نستشعره سماعا أثناء تأدية الصوائت، هو صوت معدل، وعليه فإن تحديد قوة الصائت الموضوعية لن تتأتى أبدا من خلال التوصيف الفيزيولوجي بمفرده، ولابد من إلحاقه بتفسير دقيق لما يحدث في هذه الحجرات الرنينية بخاصة الحلقية والفموية، وقبل أن نلج أفق الرنين في الصوت اللغوي، علينا أن نقف مع شرح وجيز لبعض الظواهر الفيزيائية التي تلحق بالأمواج والترددات أثناء مرحلة التكون.

الترددات الأساسية

المقصود بالتردد الأساس هو التواتر الأولي الصادر من الوترين الصوتيين، حيث «تكون فيها قيمة التردد دنيا والسعة أكبر» بمعنى أنها اهتزازات بقيم دنيا للتردد وقيم عليا من الشدة.

الترددات التوافقية

إن الترددات التي يصدرها الوتران الصوتيان، تتخذ مسارا تصاعديا إلى مخارجها، مروراً بالتجويف الحلقى والتجويف الفموي، وحين تصطدم الترددات الأساسية بأسطح التجايف، تقوم هذه الأخيرة بإصدار ترددات مرادفة، محدثة بذلك تغيرا نغميا للصوت المصدري، فحينما نستمع إلى صوت آلة موسيقية ويكون فيها التكثيف متباعدة، فإننا نلحقها بإصدار صوت موسيقي آخر يتزامن معها في الدور أو بأضعاف الدور، فتتاج ذلك هو صوت توافقي، يؤدي دور المرنم النغمي للتردد الأساس، وهي الهيئة ذاتها التي «تؤدي في التصويت بالأصوات اللغوية جميعها»، ونخلص بهذا، إلى أن الصوت الإنساني هو تركيب من الترددات الأساس والترددات التوافقية أيا كان نوعها، والاختلاف الأكوستيكي الحاصل بين أنواعه هو اختلاف في البعد، والخاصية الفيزيائية تلحق الصوت أثناء عمليتي الرنين والترشيح.

رنين الحركة

أدرك الفارابي في وصفه أنواع الصوت، أن طبيعة الأجسام المتصادمة فيما بينها، وكذا حركية الهواء وتموضعه، عاملان مهمان في تحديد نوع الصوت الصادر، وذهب مؤكدا بأنه « كلما كان الهواء النابي من بينهما أشد اجتماعا، فحدوث الصوت فيه أمكن وأجود، وذلك ما ينبو متى قرعت الأجسام

الصلبة الملس المتراسة الأجزاء»، ونفهم من القول إن الفارابي جمع بين خاصيتين رئيسيتين، أولاهما: اجتماع الهواء وكثافته؛ وثانيهما نعومة الأسطح المتقارعة لحدوث صوت أمكن وأجود؛ والتمكن والجودة في رأيه هما صفتان تجتمع فيهما قوة الإسماع والجرس النغمي الخالي من الضوضاء، وهي الصفات التي تأخذها الأصوات الرنينية.

وقد تنبه ابن جني لظاهرة الرنين في الصوت اللغوي، بخاصة في حدوث الصائت، وشبه التغير الذي يلحق بالصوت الإنساني، بما يحدث للصوت أثناء نفخ الناي، فعبر عن ذلك قائلاً: «شبه بعضهم الحلق والفم بالناي، فإن الصوت يخرج فيه مستطيلاً أملس ساذجاً، كما يجري الصوت في الألف غفلاً يغير صنعة، فإذا وضع الزامر أنامله على خروق الناي المنسوقة، وراوح بين عمله، اختلفت الأصوات، وسمع لكل خرق منها صوت لا يشبه صاحبه»، ونستشف من هذا النص، أن ابن جني كان على يقين أن التلوينات الصوتية تحدث إثر التغيرات التي تطرأ على القناة الصوتية للناطق، والممتدة من الحنجرة إلى الفم، إلا أنه كان يقصد فقط حالات النطق بالسواكن، ونستدل على هذا من قوله: إن (الألف) وهي حركة طويلة لمد الفتح، كانت تخرج بغير صنعة، قاصداً بذلك مسلكها الحر، وفي مقام آخر يشبه الظاهرة بوتر العود أثناء مزوجة صوتين ببعضهما، لتحصل على صوت آخر مختلف النغم. ويتكشف لنا من خلال القولين والتشبيهين أن "ابن جني" جانب حقيقة ما يحدث في التجايف على الرغم من أنه اقترب إلى حد بعيد من إدراكها، فالتبدل الصوتي الذي كان يود شرحه، هو التلون النغمي الذي يلحق بالصوت حين يتغير مكان التأثير في التجويف من مكان إلى آخر، وهو الدور الذي تؤديه الحلقات الشبه دائرية المكونة للتجايف، «حيث تقوم بتبديل تقاسيم الصوت، من خلال إصدارها لترددات واهتزازات تجايفية *sympathetic vibration* يطلق عليه مصطلح الرنين *résonance*، كما يطلق على الشيء الذي ينشط بتأثير من هذه الاهتزازات مصطلح الجسم المرنان *le résonateur*، ويجب أن ننبه هنا، إلى أن ظاهرة الرنين ليست على النحو الذي يصورها عليه بعض دارسي الصوت العربي، من حيث أنها ظاهرة أكوستيكية مكتسبة لدى بعض الصوامت والصوائت، وفيهم من ذهب إلى تصنيف بعض الصوامت الرنينية على غرار العين، اللام، الراء، النون، الميم، وهو وصف مبالغ فيه، ولا يمت للظاهرة بصلة، والأرجح أن نقول بأن درجة الرنين تتفاوت من صامت إلى آخر بحسب مقدار التردد وسعة الاهتزاز. فالرنين هو وصف لعملية التعديل التي تؤديها الحجرات لكل الأصوات المنطوقة، وللتوضيح أكثر نقول: إن المقصود بالتعديل هو عملية تقوية الصوت الحاصل من الوترين الصوتيين بمجموعة من الاهتزازات المقابلة التي يصدرها الجسم المرنان (التجايف). وهذه الحال هي هيئة متكررة مع الأصوات اللغوية جميعها، مع حدوث فوارق في درجة الرنين، وذلك بحسب موقعية أو نقطة الارتكاز التي يحدث فيها الصامت.

وفقا لهذا المقتضى، نجد أن « درجات الرنين في سائر الحركات باختلاف حجم حجرة الرنين وشكلها، وحجرة الرنين هذه، قد تكون فموية، أو فموية أنفية أو حنجرية أو حلقيه » غير أن هذه الحركات لا تُوظف دائما بشكل أحادي، بل تأخذ وضعياتها بحسب الصائت المنطوق، وبتتبع حالات النطق بالحركات العربية الثلاث نحصل على الوضعيات التالية:

حجرة رنين واحدة يكون جزؤها الحلقي أكبر من جزئها الفموي
حجرة رنين واحدة يكون جزؤها الحلقي أضيق من جزئها الفموي
حجرة رنين مزدوجة يكون تضيق بين جزأها الحلقي والفموي
حجرة رنين أمامية ليس للجزء الخلفي والحلقي تأثير معها
حجرة رنين خلفية ليس للجزء الأمامي من الفم تأثير معها
حجرة رنين فموية أنفية".

في ظل هذا التوصيف الفيزيولوجي، تتضح أمامنا ست وضعيات متبدلة لحركات الرنين في الجهاز النطقي عدا التجويف الأنفي، وتدفع هذه التغيرات في الوضعية إلى تبدل في كمية الهواء والمرور الانسيابي للصوت، وجميعها وضعيات وهيئات قائمة في التصويت بالحركات العربية الثلاث، « إذ تصير تجاويف الهواء المحبوس مستجيبة للرنين، تتحدد خصائصها الأكوستيكية بحجمها وشكلها»، أي أن التغير الذي يتخذه التجويف في الانغلاق والانفتاح، يؤدي إلى تغير في كمية الهواء الموظفة، مما يؤدي حتما إلى اختلاف في الضغط وطاقة الصائت، وجميعها خصائص أكوستيكية، من شأنها أن تعطينا تفسيراً علمياً لظاهرة الخفة والثقل بين الصوائت العربية.

أما إذا التفتنا إلى شرح فيزيائي مبسط، لما يحدث داخل غرف الرنين في الجهاز النطقي، من تعديل وترين للصوائت، بعد حدوثها على مستوى الوترين الصوتيين، باعتبار التركيبة الفيزيولوجية للتجاويف، والتي تتمثل في شكل حلقات غير مغلقة متوازية الوضعية، ومرتابة الخطية، على طول الحلق، نفضل أن نحكي وصف "ابن جني" في شرحه للظاهرة، حتى نقف على إدراك واف لمبدأ الرنين، وكيفية تشكل الترددات فيه، وتوزعها بين ترددات أساس وترددات توافقية، ونتمثل ذلك بصافرة تصدر صوتاً بتردد أساس مقداره 100 هرتز، في التجويف الأول، أما التجاويف الموازية فهي مسؤولة عن إحداث الترددات التوافقية، أي أنها تحمل قيماً مضاعفة للترددات الأساس، التي تصدر بقيمة ضئيلة عادة عند الإنسان، وتقوم الحركات بتضعيفها. ينظر (الشكل 7). بالنظر إلى تشكيلها الهندسي، وخاصية مادتها اللزجة المطاطية التي تمنحها القدرة على التضعيف والإضعاف للأمواج الصوتية المصدرية في الوقت ذاته.

يُعد زمن النطق بالصوت اللغوي، بعداً مؤثراً في تصنيف خصائص المنطوق، بخاصة في مسألتي الفرق الكمي بين الصوائت، وكذا الفروقات الحاصلة في المقاطع اللغوية. وهنا « يجب أن نفرق ما بين نوعين من الزمن: الزمن الموضوعي، والزمن الذاتي، فالزمن الموضوعي هو زمن عرفي يفرضه تموضع الحركة في البنية اللغوية، أما الزمن الذاتي فهو زمن يتبدل من ناطق إلى آخر، استجابة لمقتضيات التواصل اللفظي.

وإذا سلمنا بأن زمن النطق بالصوائت لا يشغل حيزاً دراسياً هاماً، نتيجة لطبيعة حدوثها، « كونها نفسية *Aspired* أو غير نفسية *Unaspired* ومصوتة *Voiced* أو غير مصوتة *Voiceless*، فإن الحركة، ترتبط بالزمن ارتباطاً وظيفياً، يؤدي إلى تحديد طولها، وبات هذا التلازم ظاهرة شائعة في إنتاج الحركات في اللغات الإنسانية جميعاً « فإذا تأملنا الفرق بين الصيغة /فَعَلَ/ والصيغة /فَاعَلَ/ نجد أنه فرق كمي، مس الطول الزمني الحاصل في عين الصيغة، قبل أن يكون اختلافاً فرادياً وتركيبياً، إضافة إلى هذا فإن التغيرات فوق المقطعية التي تأخذها المقاطع الصوتية بخاصة في اللغة العربية، على نحو التنغيم *intonation* والإيقاع الصوتي *rythme* فإنها تعتمد أساساً على توزيعات وتقسيمات زمنية، مازال البحث الصوتي العربي لم يجد لها سبيلاً يقينياً في تقفي أثرها.

وتبعاً لهذا، يغدو حضور التمثيل الطيفي للمنطوق، حضوراً إلزامياً في سياق تبني الأطروحات اليقينية بوصفه ملمحاً تحليلياً مزوداً بمعلم قياسي للموجات الصوتية، هو ألف الثانية *millisecond* وهي جزء من الألف من الثانية، وذلك بحساب الأزمان الموضوعية لمنطوق الحركة في مواضع متبدلة من الصيغ الإفرادية، وفي هذا السياق، نشير إلى أن الكثير من أهل التخصص قد عنوا بهذه المسألة وقدموا لنا قيماً وأبعاداً متفاوتة، لأزمنة الحركات القصيرة والطويلة، على نحو الدراسة التي قدمها "سلمان حسن العاني" حول الفرق النسبي الحاصل بين نوعي الحركة، حيث خلص إلى أن « المدى النسبي للحركات القصير ينحصر من 100 إلى 150 م/ث، ومدى الحركات الطويلة من 250 إلى 350 م/ث»، ولم تبتعد النسب المقدمة عن تقديرات النحاة وعلماء التجويد من حيث أن المد هو كمية مضاعفة لزمن النطق بالحركة القصيرة.

إن النهضة العلمية التي شهدتها العالم في مطلع القرن التاسع عشر تساوقا والثورة الصناعية الأوروبية، «عرفت توجهها كبيرا نحو علوم الفيزياء، بخاصة بعد اكتشاف الطاقة المولدة للحركة بشتى أنواعها»، وبدأت التكنولوجيات تأخذ تسارعا لا يصدقها المرء. وأخذ يُسند للآلة مهامها طالما مارسها الإنسان عبر العصور.

وتماشيا مع هذا، ظهر ما يسمى باللغة الرقمية، وهي لغة وسيطة تربط لغة المعادلات الرياضية المجردة المؤدية للأغراض العلمية، ولغة النظم الإلكترونية المؤدية لغرض الطاقة والتحريك، ومن هنا نشأت فكرة الحوسبة، والحاسوب، والإعلام الآلي، والمعلوماتية، والرقمية، وهي كلها مصطلحات مقترضة من اللاتينية، تفيد علم الحساب الرقمي. فأداة الحاسوب هنا، لا تؤدي غرض الحساب العددي فقط، بل تتعداه إلى تحويل كل لغة إنسانية برموزها الحرفية إلى لغة رقمية، تتيح فرصة الدقة والقياس والضبط في خصائص الصوت اللغوي بخاصة على مستوى أبعاد الكميات الواصفة له.

القراءات الطيفية للموجة الصوتية

إن المزية التي أسدتها تقنية التصوير الطيفي للحقل الصوتي ليست من باب الترف العلمي، وإنما هي عتبة كان لابد لعلم الأصوات أن يستشرف آفاقها، ولأسيما بعد أن تهيأ للدرس الفيزيائي ترجمة الحركات الحسية للأجسام المتنقلة في الهواء، وتحويل حيثياتها المتحركة إلى هيئات طيفية قارة، يلتقطها جهاز السبكتروجراف، فقد «تمخض التقدم العلمي في مجال دراسة الصوت عن إنتاج جهاز المطياف (الراسم الطيفي للصوت) *Sound Spectrograph*، والذي يمكننا باستخدامه وتغذيته بأي رسالة صوتية يراد تحليلها أن نحصل على رسم طيفي للصوت»، فالتسجيل التصويري الطيفي ثابت، ويمكن أن يفحص ويقاس على مهل، ويمكن أن ينوع ويعدل ليبرر خاصية أكوستيكية في وقت محدد، وخاصية أخرى في وقت آخر، حيث ذلت هذه الإمكانية الكثير من الصعوبات التي واجهت الدراسة الصوتية في جانبها التجريبي، والتي كانت تعتمد إلى وقت قريب على البرهنة الرياضية لمجموعة من القوانين الفيزيائية الخاصة بالصوت.

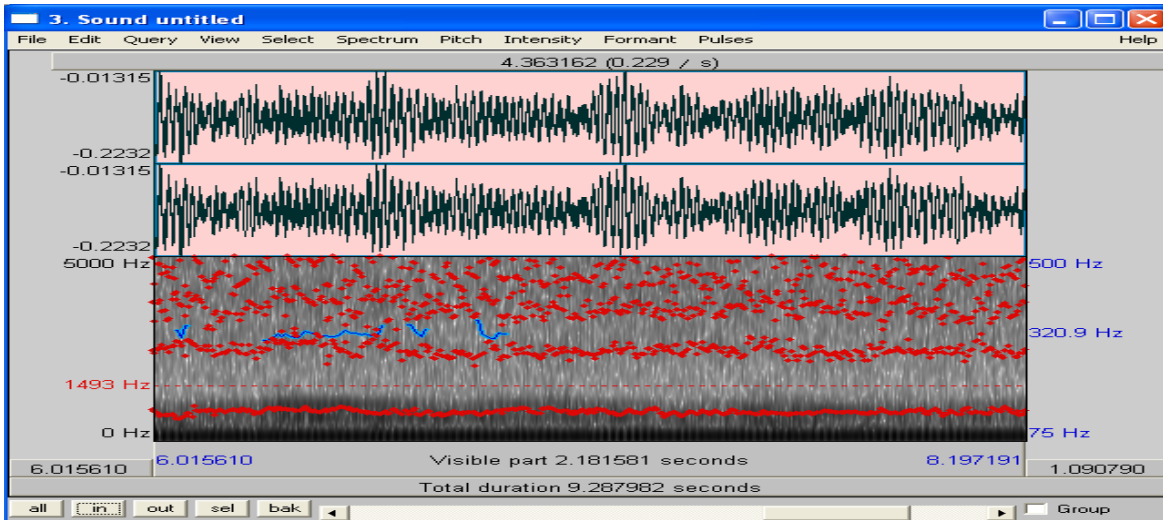
ولاشك أن مقروئية التوجه الصوتي الحديث قد تأثرت بفعالية التحليل الطيفي، إذ استفادت المخابر الصوتية التي عنت بدراسة المنطوق البشري بحصيلة الأطروحات التي أفرزتها التحليلات المخبرية، مما ساهم في فك بعض مغاليق الهيئة العضوية والفيزيائية للصوت اللغوي التي عجزت أجهزة كثيرة عن إدراك كمها، بالنظر إلى الطبيعة العضوية المعقدة، وترباطها مع متغيرات الأداء في الجهاز النطقي من حيث إنتاج الكلام، « فكانت المهمة الأولى للاستبكتروجراف هي تحويل الكلام إلى

صور مرئية»، وهي الحالة النمطية التي يتمكن فيها الملاحظ من المعاينة المتأنية لهيئة الأمواج الصادرة وتمحصها، قبل الولوج إلى عمليتي القياس والاستنتاج.

وعلى هذا الأساس، تمكنت الدراسات اللغوية الحديثة من الارتقاء بمقروئية الحقل الصوتي بالارتهان إلى تقنية التصوير الطيفي، مما أدى إلى تغيير في استراتيجية الطرح الصوتي العربي بإقصاء مبدأ التخمين الحدسي والامتثال لسلطة البحث التقني، وهو ما ترسخ في علم الأصوات الأكوستيكي، إذ تحددت الأشكال الموضوعية لتمثل الموجات الصوتية سواء عند حدوثها في تجايف الجهاز النطقي، أم عند بروزها إلى الخارج أثناء انتشارها في الهواء بصورة أكثر عمقا ونضجا.

ولعل أولى الحقائق التي أسهمت في تغيير ملامح الطرح الصوتي، التوصل إلى صيغة موضوعية يتم من خلالها الإحاطة بتفاصيل الكيان الصوتي في هيئة طيفية تمظهرت على شكل أمواج بسيطة مترابطة، حيث مكنتنا السبكتروغراف من « تمييز الأصوات المركبة من الأساسية من التوافقية »، وهي أمواج ترسم في شكل أشطرة وحزم داكنة السواد عرضية، تتوسطها فراغات فاصلة، فكل هذه التجمعات الموجية يعبر لها بجزئية معينة من المنطوق (ينظر: الشكل). وقد أبانت تقنية الصورة الطيفية عن قدرة فائقة في التعامل مع المنطوق الإنساني، انطلاقا من التعامل المتأني مع أجزائها بدءا بتفكيكه وتحليله، ومتابعة تبدلاته المرحلية، حيث أصبحت إمكانية فصل الحركة عن ساكنها في متناول المتمرس، كما مكنتنا التقسيم المعلمي في محوريه العمودي الخاص بالترددات والأفقي الخاص بالأزمان، من قراءة وحساب الأبعاد الكمية المميزة للتسلسل الكلامي في جميع الحالات، سواء المتقطعة أم المتتابعة.

التمثيل الطيفي للموجات الصوتية للمنطوق



يتضح من خلال الشكل المثبت أعلاه، صورة طيفية لللفظة / كتب /، حيث نلاحظ تموضع الأشطرة العرضية الثلاث، والتي اصطلح عليها بالحزم الصوتية المميزة *Formant*، فالحزمة الأولى والثانية تكونها مجموع الموجات الأساسية للمنطوق، أما الحزمة الثالثة فهي الحزمة المتشكلة من

الموجات التوافقية، كما نلاحظ فراغات عمودية الموضع، وهي لحظات صمت مستقطعة من السلسلة الكلامية.

وما من شك، أن مسألة التقطيع الصوتي وطبيعة المقاطع في اللغة العربية ما زلت إلى يومنا هذا موضع جدل كبير، ولاسيما ما تعلق بالفونيمات فوق المقطعية (المقطع/ النبر/ التنغيم/ الوقف)، وذلك أن أغلب الدراسات التي عُنت بفحص هذه الوقائع لم تكن مقنعة، انطلاقاً من السبل المتبعة في معالجة تفاصيلها بإخضاع البنية فوق مقطعية نبرية كانت أم نغمية إلى آليات تحليلية تسترشد بمكتسبات النظرية الصوتية الغربية، على نحو التمثل الكلي الذي نلمح صداه في المطارحات الصوتية العربية لمواضع النبر والتنغيم داخل البنية اللغوية. غير أننا، لو تأملنا في الطبيعة الأكوستيكية لهذه الظواهر الصوتية، فإننا ندرك أنها فونميات ألحقت وبدلت في التصيوت بالحركة لا بالصوت اللغوي، أي أنها تأتي على شكل إضافات وتغيرات نغمية تلازم المقطع بنوعيه القصير والطويل. ومن هنا، فإن اللجوء إلى استقرار للصورة الطيفية للمقاطع في هيئتها الطبيعية الخالية من تلك الإضافات، وتسجيل قياساتها الترددية وكذا قياسات الشدة، ورصد الاختلافات التي تطرأ على التمثل الطيفي للمقطع النغمي والنبري، قد يقودنا حتماً إلى إبراز دلائل وعلل لهذه الظواهر الفيزيائية.

وقد أفرزت هذه التجارب المنجزة نتائج متقدمة ومقنعة، حيث يبرز الرسم الطيفي بالنطاق الضيق نغمات توافقية للأنموذج اللحني التنغيبي لنطق ما، كما يفضي إلى تقسيمات دقيقة تبين « مدى اتساع الذبذبة *amplitude section* وملح قوة الضغط أو كمية النبر الموجودة في الترددات المكونة لصوت ما في لحظة معينة » وتعبير آخر، نقول: إن النطاق الأول من الحزم هو تمثيل يسم طبيعة التصيوت، وثانيهما تظهر لطبيعة التنغيم، أما النطاق الثالث فهو للدلالة على القوة النبرية الحاصلة على المقطع.

إضافة إلى هذا، فإن المعاينة المباشرة للصور الطيفية، قد أمدتنا بحقائق جديدة خصت الأوصاف الفيزيائية للسواكن، وذلك من خلال تفكيك الأمواج التوافقية المركبة، في الحزمة الثانية والثالثة، وفصلت في الخلاف القائم بين القدامى والمحدثين في قضية الجهر والهمس لبعض من الحروف، على نحو صامتي /ط/ و/ق/، فالراسم الطيفي يبين بوضوح أنهما أصوات مهموسة وقفية و بالكاد نرى أن الحزمة التوافقية الأولى التي تقترب من العدم. والأكد أن ذلك الوميض الطيفي ما هو إلا انعكاس لصوت أو ألفون الصائت الذي يجعلنا نسمع الحرفين، فإننا حين نقوم بحذفه بشكل تام، نصل بالحرفين إلى حالة اللاصوت.

الإجراء التطبيقي لمعالجة الكلام

تمهيد

إن ما تم تقديمه في الجانب النظري، كان دراسة للأبعاد الفيزيائية الرئيسة التي يمكن أن تخص قياس كمية الصوت اللغوي العربي الذي ، باعتباره جسما ماديا، ينتج بفعل طاقة النفس المتولدة من الرئتين، وبعد أدائه لمسارات مختلفة بحسب تجويفات الجهاز النطقي، يأخذ كل صوت صفة فيزيائية معينة.

وانطلاقا من النظريات السابقة لفيزياء الصوتي اللغوي والقراءات الطيفية له ، والتي اعتمدت أساسا كيفية تحديد إحداثيات الكمية الصوتية؛ بدءا بدرجة الصوت، وشدته، وقوته. وهي الأبعاد التي عمدنا إلى البحث فيها واستخراج إحداثيات كل منها.

وبإيضاح كل هذه المفاهيم، فإن الأرضية أصبحت مهيأة لإسقاطها بشكل مباشر في الحقل التجريبي، والذي تبني فيه برنامجا حاسوبيا Praat، من شأنه أن يلعب دور السبكتروغرام spectrogram الرقعي والكرونومتر chronomètre، الذي يمكننا من القراءة المباشرة لمحصلة الأصوات المنطوقة بحسب المنهجية المتبعة.

التعريف ببرنامج PRAAT الحاسوبي لقياس أبعاد الصوت اللغوي.

برنامج Praat هو برنامج حاسوبي، يُمكن من أداء مهام عديدة للتحليل الصوتي، ويسمح بإجراء عمليات التركيب الآلي في الكلام، وتوظيف مختلف البيانات القاعدية لـ (التحليل الإحصائي، والبناء الكلامي، والنحو....)

وتم تطوير برنامج Praat من طرف الباحثين "بول بورسما" Paul Boersma و"دافيد وينيك" David Weenink ، من معهد الصوتيات في جامعة أمستردام -هولندا- حيث تم إعداد ثلاث نسخ مطورة من البرنامج، النسخة (3.99)، والنسخة (4.05)، والنسخة (4.011)، وهذه الأخيرة هي المعتمدة في دراستنا التطبيقية.

وتتلخص مهام برنامج Praat الحاسوبية في :

- 1- تسجيل اللغات الصوتية Audio (سمعية) التي توضع قيد التحليل.
- 2- إجراء تحاليل صوتية، وأكوستيكية على مستوى المقاطع (سبكتروغرام spectrogram، تحليل الحزم الصوتية).
- 3- تغيير الخصائص الفيزيائية للصوت (تصفية، تبدلات التنغيم).

4-إحداث التركيب الكلامي من خلال (تفعيل مؤثرات صوتية جديدة، وتغيير البيانات القاعدية الرقمية) .

5-استعمال البرنامج كأداة تعليمية للنطق السليم.

6-إجراء التحاليل والمراجعات الإحصائية لمختلف الأبعاد من خلال الدراسات الصوتية.

منهجية الدراسة التطبيقية

لم تخرج المنهجية المتبعة في حقلنا التجريبي عن نطاقها النظامي المعتمد في العلوم التجريبية الأخرى، حيث كانت الانطلاقة من أطروحات اللغويين. واعتمادها باعتبارها جملة من الفرضيات، ومن ثم التجريب، وصولاً إلى النتيجة. وبما أننا نعمل على تحديد قياسات بعدين رئيسين، هما: زمن الصوت اللغوي، وقوته الممثلة في درجته وشدته .

حيث نشتغل في الجزء الأول على قياسات الزمن للصوائت والصوامت، منعزلة وداخل السياق، ونتطرق في القسم الثاني إلى عوامل التردد (درجة الصوت)، والشدة للصوائت والصوامت، بصفة مطلقة، وداخل الكلم.

أما الأصوات اللغوية التي نخصها بالقياس يجب أن تكون على نحو الآتي:

الهيئة 1:

أصوات الأبجدية المغربية مسكنة : آء، آب، أج.....آش
والغرض منها قراءة زمن الصامت وتردده، وشدته بمعزل عن السياق.

الهيئة 2:

مكونة من الحزم الصوتية للكلمات التالية:

جَاءَ، قَالَ، شَابَّة . كَتَبَ، هُبِّي، بِصَحْنِكَ.

والغرض منها استخراج زمن الحركات العربية، وزمن المد، باختلاف مواضعه، وتبدلاته الجوارية داخل السياق.

ويجب أن يعتمد المطبق إلى تكرار التجارب، واستخراج القيم المتوسط لكل بعد من أبعاد الكميات الواصفة حتى يتمكن من إعداد مدونة معيارية لنطاقات الصامت والصائت العربية بحسب التحليل الطيفي .

تهديد

لما كان الصوت اللغوي طاقة إنسانية، تتمظهر بمظهر مادي؛ نتيجة اهتزازة في وسط ناقل لموجاته، فقد كان من الطبيعي أن يستقي منطلقات بحثه من الوسائل التطبيقية المتاحة على الدرس الصوتي، سواء أكانت وسائل تشريحية تعنى بالتأسيس لمبادئ علم الأصوات الفيزيولوجي والسمعي، أم كانت فيزيائية تعين على كشف خصائص فيزيائية، أو أكوستيكية *acoustique* لأصوات الكلام الإنساني.

إن طرحنا البحثي هذا، هو خوض في إمكانية إخضاع الفعل الكلامي والصوتي بوصفه إحدى الحلقات المشكلة والمكملة لعناصر التحليل اللساني، إلى آليات القراءة والتمحص والتقفي والمعالجة، في ظل ما تقدمه المخابر الصوتية من إمكانات انتقلت بها من تقنية الكيموغراف إلى الأوسيلوغراف، إلى السبيكتروغراف الرقمي *Spectrogramme*، الذي مكنتنا أخيرا من معاينة الصورة الطيفية للمنطوق بكل عناصره، كما أمدنا بإمكانية العزل والتركيب *synthétisation* لتشكلات الكلام المقطعية، وإخراجنا من بوتقة الإحصاء العددي والكمي، إلى التمرس الوصفي والكيفي لهيئات الكلام، من خلال معالجة الصور الطيفية للحزم الصوتية.

مفهوم الحزم الصوتية les formants

يتضح من خلال الشكل أن الحزمة الصوتية هي نطاق الرنين ذو الشدة العالية، يظهرها الراسم الطيفي *spectrograph* في شكل شريط داكن السواد، ويمكن من خلالها استبيان الترددات الأساس F_0 والترددات التوافقية F_1 فما فوق، وهي ترددات ضعيفة الكم كما يوضحه المعلم العمودي، وبقيم قصوى للشدة، غير أن الميزة التي أحدثتها القراءات الطيفية للحزم الصوتية، لا تنحصر في قياس الأبعاد الكمية للصوت بل هي تتعداه إلى إظهار خصائصه الكيفية أو النوعية *Qualité*، بخاصة على مستوى الحزمتين الأولى والثانية، وهي الحزم التي تخص منطوق الصائت، وقد اعتمدت هذه التقنية في تحديد ما يسمى ببصمة الصوت، حيث أن الحزمتين الصوتيتين الأولى والثانية تحافظان على مجالهما البُعدي في مقدار التردد، كما الشدة، عند الناطق ذاته، لعائلة الأصوات نفسها، ولتوضيح ذلك فقد أثبتت الدراسة المخبرية أن الحزم المميزة في أصوات الكلام الرنانة غير الأنفية حين ينتجها رجل طبيعي تقع عادة في حدود مستويات التردد الآتية:

F1	150	850	ذ/ث
F2	500	2500	ذ/ث
F3	1700	2600	ذ/ث
F4	2500	4500	ذ/ث

ولصوت الأنثى العادية حزم ترددية مميزة أعلى من صوت الرجل بنسبة 17% والسبب في ذلك هو الاختلاف الفيزيولوجي في طول الوترين الصوتين وكذا الاختلاف في حجم التجاويف بين الجنسين. ويجب أن نوضح أن قيم التردد التي يأخذها الصوت المنطوق تتبدل بحسب طبيعته الفيزيولوجية، وحسب قوة التصويت فالصوت الرنيني، غير الصوت الوقفي، وإذا كان التفاوت الضئيل في كم التردد والشدة والزمن، هو وارد في حالات تبدل الوضعية الفيزيولوجية للجهاز النطقي، أو الظروف البيئية، فإن الخاصية النوعية للحزمتين $F0, f1$ لا تتغيران، بوصفهما، « مجموع الترددات *Groups of frequencies* التي تحكم التشكل النوعي للصوت *Timber*، حيث تمنحه خاصية التميز عن بقية الأصوات»، والعللة في ذلك، أن صورة الحزم الصوتية التي يمدنا بها الراسم الطيفي، هي تمثيل لترددات موضعية ثابتة غير متغيرة، أي أنها تحدث بدلالة الطبيعة الفيزيولوجية لتجاويف الرنين الثابتة الخواص عند الناطق حيث تكون:

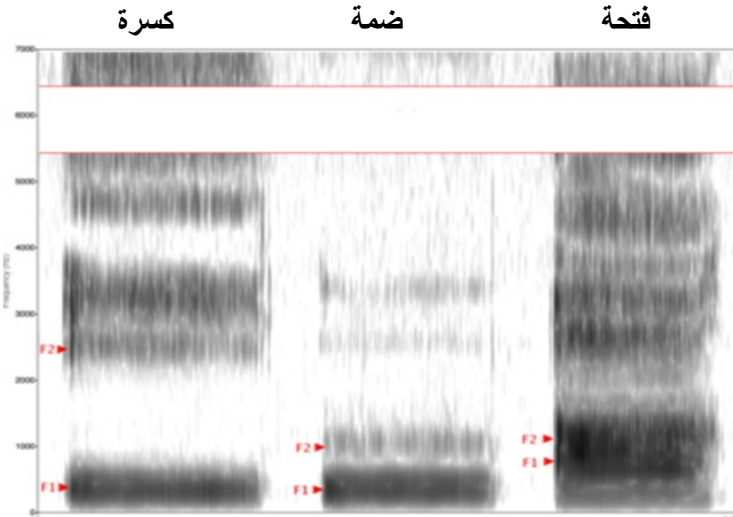
$F1$ هي الحزمة الصادرة من الحنجرة

$F2$ هي الحزمة الصادرة من التجويف الفموي

$F3$ هي الحزمة الصادرة من التجويف الفموي الأسناني

وقبل أن ننتقل إلى وصف الخصائص الأكوستيكية للحركات اعتمادا على صور الرسم الطيفي، يجب أن نوضح بعض المسائل التي وقع فيها اللغط عند الكثير من الدارسين، وأولها أن المطياف يضعنا أمام شكلين من القراءة: كمية وكيفية، وأما الكمية فهي القياسات التي تخص قيمة التردد للحزم وقيمة الشدة فيها، والبعد الزمني للمنطوق، أما القراءة الكيفية فهي تلك التي تعنى بتموضع الحزم الصوتية الخاصة بالحركة أيًا كان نوعها قصيرة أم طويلة، وهي قراءات ثابتة غير متغيرة. ينظر: (الشكل: 8)

أما بالنسبة لباقي الصوامت، فإنه من البديهي أن ندرك بأن صورة الحزم الخاصة بالترددات التوافقية، تتباين بحسب خاصية الصوت الأكوستيكية، فالأصوات الرنينية /م، ن/ تأتي أكثر وضوحا، تليها الصوامت المجهورة الاحتكاكية غير الوقفية /ز، ذ/، أما الأصوات المهموسة كما الأصوات الوقفية فإننا لا نكاد نرى تمثيلا في حزمها الصوتية.



الشكل (8)

التبدل النوعي في حزم
الحركات العربية

يلاحظ من التمثيل الطيفي، أن النطاق الرنيني للكسرة جاء أوسع، من نطاق الفتحة والضمة، كما لوحظ، أن نطاقي الفتحة جاءا متقاربين إلى حد بعيد، ونفس ذلك بالتباعد الحاصل بين نقاط الارتكاز في التجايف، حيث تأتي f_1 و f_2 في نطاقين النطق بالفتحة متقاربين إلى حد بعيد، حيث لا يبتعد مصدر حدوث الترددات الأساس مع الترددات التوافقية على مستوى أعلى الحنجرة، على عكس الضم، حيث يقع الضغط في الحنجرة وعند ارتفاع مبدأ اللسان، أما الكسرة فتأتي فيها f_2 مبتعدة أكثر، لأن الضغط يأتي إلى مؤخرة اللسان. إضافة إلى هذا، فإنه يتسنى أن نقرأ على المعلم الأفقي من خلال الفرق في أزمان النطق، بين الحركات، وهو بعد فيزيائي مهم، نصل من خلاله إلى الفصل في مسألة الاختلافات في طبيعة المدود وأجزاء الحركة، فصلاً يقينياً.