التعرف على المتحدث من خلال صوته

"البصمة الصوتية"(١)

بقلم/ الدكتور منصور بن محمد الغامدي

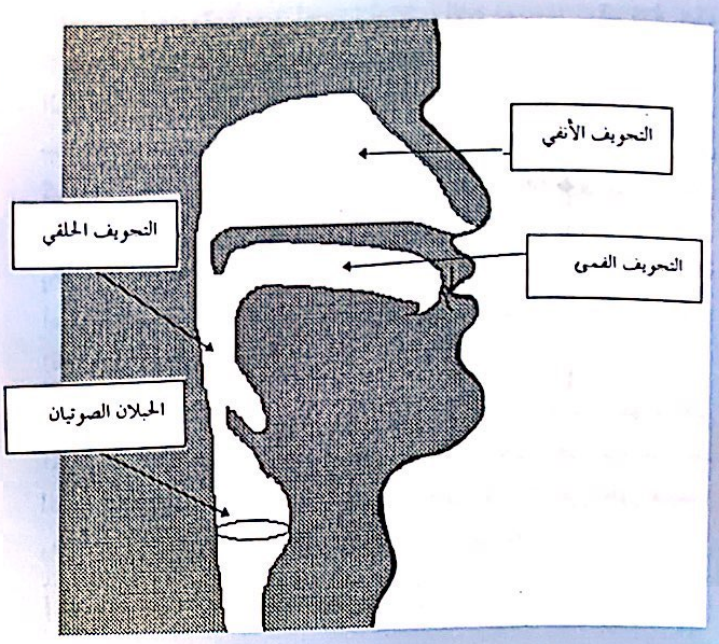
يستخدم الإنسان صوته لإرسال رسالة ما إلى السامع. فالصوت هو أقدم وسيلة وظفتها اللغة في نقل الرسائل من المتحدث إلى السامع وأكثرها دقة وفعالية. إلا أن صوت المتحدث لا يحمل الرسائل اللغوية فحسب، ولكنه أيضاً يحمل أشياء أخرى إضافة إلى ذلك. فنستطيع التعرف على لهجة متحدث عبر الهاتف وجنسه وعمره وحالته الصحية والنفسية وفي بعض الأحيان شكل جسمه وتحديد أسرته حتى ولو كنا نستمع إليه للمرة الأولى. أما إذا كان المتحدث معروفاً لدى السامع فإنه يستطيع التعرف عليه دون أن يذكر المتحدث اسمه أو ما يشير إلى هويته. فما السر في الموجة الصوتية الذي يجعلها تحمل كل هذا الكم من المعطيات؟ وكيف يوظف ذلك في التعرف على المتحدث "البصمة الصوتية"؟ هذا ما تحاول هذه المقالة الإجابة عليه.

قبل الحديث عن الموجات الصوتية والتعرف على المتحدث لابد من تقديم للجهاز الصوتي في الإنسان وتوضيح لكيفية عمله. فهو "الآلة" التي منها ينبعث الصوت البشري بجميع تردداته ودرجات شدته.

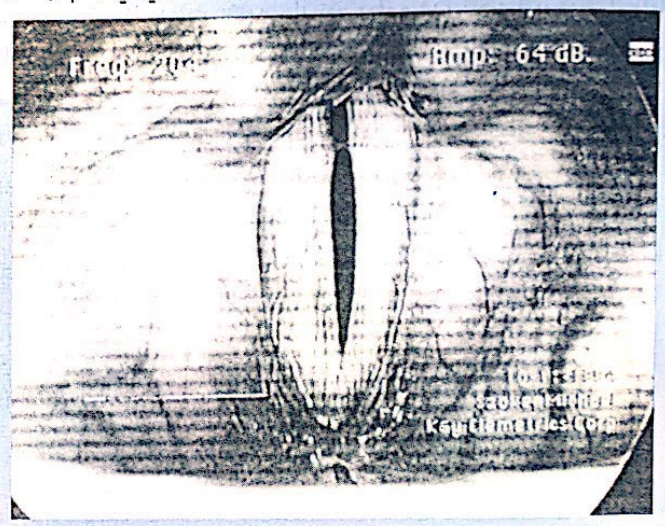
الجهاز الصوتي

يتكون الجهاز الصوتي من الرئتين كمصدر للطاقة وثلاثة تجاويف هي الحلقي والأنفي والفمي (الشكل ١). وما تحتويه هذه التجاويف من أعضاء كالشفتين واللسان والأسنان واللهاة ولسان المزمار والحبلين الصوتيين.

يدخل الهواء أثناء الشهيق عبرالجهاز الصوتي سواء من التجويف الأنفي أوالفمي إلى التجويف الحلقي فالقصبة الهوائية فالرئتين. ويخرج عبر القنوات نفسها أثناء الزفير. وفي حالة التنفس الطبيعية فإن الهواء لا يحدث صوتاً أثناء مروره بالجهاز الصوتي. أما في حالة الكلام فإن هواء الزفير يمر في البداية بالحنجرة فيقوم الحبلان الصوتيان بالتذبذب إذا كانا متقاربين. ويطلق عليهما اصطلاحاً "حبلان" إلا أنهما في واقع الأمر



الشكل ١. الجهاز الصوتي في جسم الإنسان



الشكل ٢. الحبلان الصوتيان كما يصورهما منظار الحنجرة

رقيقتان تمنعان مرور الهواء عبر الحنجرة إذا ما التقتا، وتسمحان بمروره في حالة تباعدهما (الشكل ٢). وعند تقاربهما بدرجة مناسبة فإنهما يتذبذبان محدثان صوتاً يختلف تردده من شخص إلى آخر. إذ يتراوح التردد عند الرجال من ١٠٠ إلى ١٥٠ هرتز وعند النساء من ١٥٠ إلى ٢٥٠ هرتز أما عند الأطفال فقد يصل إلى ٤٠٠ هرتز. والهرتز وحدة قياس عدد مرات التردد في الثانية. ولا يختلف تردد الحبلين الصوتيين من شخص إلى آخر فحسب، ولكنه أيضاً ليس ثابت التردد عند الشخص الواحد. فيختلف حسب موقع الصوت اللغوي في الكلمة أو الجملة وحسب حالة الشخص النفسية أثناء الحديث.

والحبلان الصوتيان لا يترددان مع جميع الأصوات اللغوية. إذ يترددان فقط مع الأصوات المجهورة أما المهموسة كالسين والصاد والقاف والطاء والهمزة فلا يترددان ومن ثم لا يصدران صوتا. وإنما أعضاء أخرى تقو م بإصدار الترددات المناسبة لكل صوت لغوي. أما في حالة الهمزة فيلتقي الحبلان الصوتيان لدرجة يتم فيها حبس الهواء.

ويلي الحنجرة التجويف الحلقي وفيه لسان المزمار والجدار الحلقي. ويخرج منه صوت الحاء والعين.

ويأتي بعد التجويف الحلقي تجويفان هما الأنفي والفمي. ويخرج من الأنفي الميم والنون. أما بقية أصوات العربية فتخرج من التجويف الفمي. فيخرج الباء والميم من الشفتين، والفاء من بين الشفة السفلى والثنايا العليا، والذال والظاء والثاء من بين الأسنان، والتاء والدال والطاء والضاد والنون من اللثة خلف الثنايا العليا، والسين والصاد والزاء مما يلي اللثة من الغار، والشين والجيم والياء من الغار، والخاء والغين والقاف من اللهاة.

ويتولد الصوت في أي من التجاويف الثلاثة إذا ما كان التجويف في أحد الأوضاع التالية:

الأول: أن يتولد رنين داخل التجويف عند تذبذب الحبلين الصوتيين وفي هذه الحالة فإن مبعث الصوت ليس التجويف نفسه وإنما تردد الحبلين الصوتيين وكل ما يحدث داخل التجويف هو توليد لنطق رنينية. والأصوات الوحيدة التي تخرج في هذه الحالة هي الصوائت (كالفتحة والضمة والكسرة).

الثاني: أن يكون هناك تقارب بين عضوي نطق يؤدي إلى توليد صوت حتى لو لم يتذبذب الحبلان الصوتيان. ومن أمثلة ذلك السين والفاء والصاد والشين.

الثالث: أن يكون هناك التقاء بين عضوي نطق لا يسمح فيه بمرور الهواء خارج الجهاز الصوتي. ومن أمثلة ذلك الباء والتاء والقاف والهمزة.

كان هذا وصفاً عاماً للجهاز الصوتي وكيفية خروج الأصوات اللغوية منه. ولكن كيف يمكن التعرف على المتحدث من خلال صوته؟

التعرف على المتحدث سمعياً

تستطيع الأم التعرف على رضيعها وهو في أشهره الأولى من خلال صراخه ومن بين العديد من الأطفال. هذا يعني أنه يمكن عن طريق السمع فقط التعرف على الشخص من خلال الصوت الصادر من جهازه الصوتي حتى ولو لم يكن لغوياً. ورغم درجة الدقة العالية في هذه الطريقة إلا أنه من الصعب على السامع تحديد السمات الخاصة بصوت المتحدث التي يتخذ قراره بناء عليها، فقد نتعرف على المتحدث ولكن لا نعلم كيف يتم ذلك. كما أننا نجد تفاوتاً واضحاً بين الناس في القدرة على التعرف على المتحدث. إضافة إلى أن السامع نفسه قد يصيب وقد يخطئ في معرفة

"البصمة الصوتية"

المتحدث نفسه في فترات متقطعة. ومن ثم فإن الحاجة تكون ملحة لإيجاد دليل مادي واضح يمكن للمتخصصين الرجوع إليه لتحديد سمات صوت المتحدث والاختلافات التي تميز بين المتحدثين. وكان الخيار هو الاستعانة بالأجهزة العلمية التي تبرز هذه السمات بشكل واضح وثابت.

التعرف على المتحدث باستخدام الأجهزة

يرى كثير من محللي الأصوات بأنه من الممكن التعرف على المتحدث تعرفاً جازما. وأن الأمر يحتاج فقط إلى تطوير تقني يتيح ذلك. وهم يعتمدون في رأيهم هذا على حقيقتين:

الأولى: أن الجهاز الصوتي بما فيه من أسنان ولسان وتجاويف وحبلين صوتيين ورئتين لا يمكن أن يكون كامل التطابق في شخصين. بمعنى آخر، أن لكل إنسان جهازاً صوتيا فريدا. وإذا كان الجهاز الصوتي لكل شخص وحيداً في شكله فلا بد من أن الأصوات المتولدة عنه فريدة أيضاً.

الأخرى: أن هناك ما يقرب من مائة عضلة تتحكم في الجهاز الصوتي. وتأتي الإشارات العصبية من الدماغ إلى هذه العضلات بناء على بناء سيكولوجي يتكون من عدة عوامل: منها اللغة واللهجة والمعرفة وطريقة الحديث وأسلوب التعامل مع الآخرين. فهذه في مجملها مجموعة من القدرات التي يكتسبها الفرد عبرالسنين في بيئة وظروف ينفرد بها وحده. وهذه تجعل التكوين السيكولوجي يختلف من إنسان إلى آخر. ومن ثم فإن الإشارات العصبية الواردة من الدماغ إلى الجهاز الصوتي ليست ثابتة بين المتحدثين لا من حيث التوقيت ولا الأمد ولا الكيف. وهذا ينعكس على الأصوات الصادرة من الجهاز الصوتي والمتولدة في الأصل بناء على ما يرد للجهاز الصوتي من إشارات عصبية صادرة عن الدماغ.

إلا أن المشكلة تكمن هنا في أمرين:

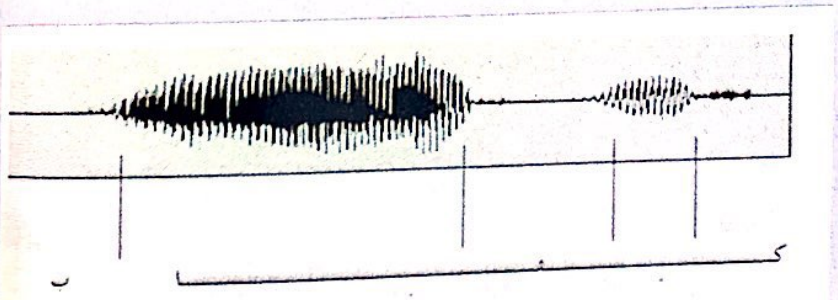
الأول: عدم الثبات. فالجهاز الصوتي في الإنسان ليس دائماً ثابت الشكل. إذ تطرأ عليه عوامل كالمرض وإصابات البرد وغيرها تؤدي إلى تغيير في الصوت الصادر عنه. وقد نجد أحياناً صعوبة في التعرف على أقرب الناس لنا عند التحدث إليهم عبرالهاتف وهم مصابون بالتهاب في الحلق أو نزلة برد.

الآخر: اختلاف آلات نقل الصوت. فغالبا ما يكون الصوت المراد التعرف عليه منقولاً عبر أجهزة أو على آلات تسجيل. وقد تؤثر هذه الأجهزة أو الآلات على نقاء الصوت. فعلى سبيل المثال، من المعروف أن الهاتف لا ينقل إلا الأصوات التي لا تتجاوز ترددا تها أربعة كيلوهرتز بينما قد يصل تردد الأصوات الصادرة عن الجهاز الصوتي إلى عشرين كيلوهرتز. هذا يعني بأن الموجات التي تقع فوق أربعة كيلو هرتز لا تنقل عبرالهاتف، ومن ثم فإن هناك مشعرات أكوستيكية ذات تردد عال مفقودة. إضافة إلى ذلك، فإن معظم الآلات والأجهزة تنقل مع الأصوات اللغوية أصواتا أخرى إما متولدة عن الجهاز أو الآلة نفسها أو مصاحبة للأصوات اللغوية كالضوضاء.

إلا أننا نستطيع القول بأن العلماء يعملون على قدم وساق للتعرف على المتغيرات التي تصيب الجهاز الصوتي ومن ثم أخذها في الحسبان عند التعرف على المتحدث. إضافة إلى أن الأجهزة والآلات في تطور مستمر وقد تحد من كثير من مشاكل نقل الصوت وتسجيله.

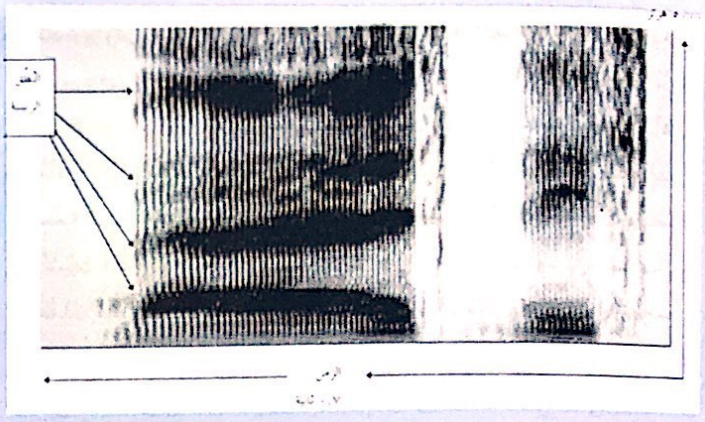
الخصائص الأكوستيكية

بقيت الموجة الصوتية سراً لا يمكن قياسها أو مشاهدتها حتى ظهر جهاز عارض الذبذبات oscilloscope. ويقوم هذا الجهاز بتحويل الطاقة الصوتية إلى طاقة كهربائية تعرض مع عامل الزمن على شاشة عرض صغيرة. فهو شبيه إلى حد كبير بجهاز تخطيط نبضات القلب. إلا أن الاستفادة من هذا الجهاز في التعرف على المتحدث تكاد تكون معدومة. ويبين الشكل ٣ ما يعرضه هذا الجهاز لصوت كلمة "كتاب".



الشكل ٣. الموجة الصوتية لكلمة "كتاب". ويمكن منها تحديد بعض السمات العامة لبعض الأصوات إلا أنها لا تعطي وصفاً دقيقاً لمكونات الموجة.

وأثناء الحرب العالمية الثانية تم تطوير جهاز لفك الموجات الصوتية المشفرة. وظهر للاستخدام العام بعد نهاية الحرب وسمي بالمطياف spectrograph، وهو يعتبر بحق أفضل جهاز خدم الدراسات الصوتية. فهو يعرض الموجات الصوتية بأبعادها الثلاثة: الزمن والتردد والشدة، إضافة إلى تفاصيل أخرى عديدة لم يكن في الإمكان إظهارها بالأجهزة السابقة (الشكل ٤).

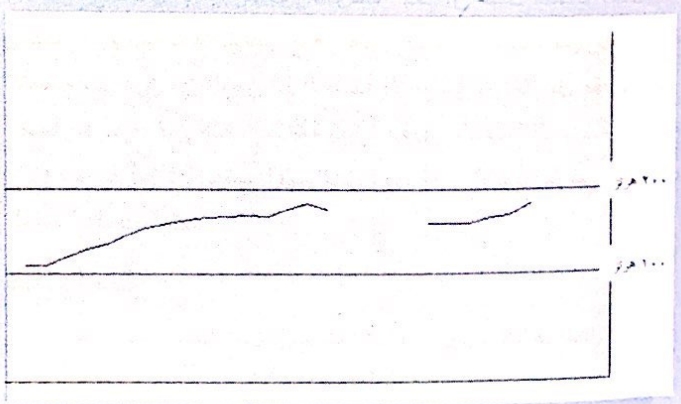


الشكل٤. الرسم الطيفي لكلمة "كتاب" ويظهر فيه تفاصيل كثيرة لا تظهر في رسم الموجة العادي ومنها أن المحور الرأسي يمثل التردد (هنا ٥٠٠٠ هرتز) والسواد يمثل شدة الصوت، والخطوط الرأسية المتوازية تمثل تردد الحبلين الصوتيين، وتظهر على الرسم النطق الرنينية

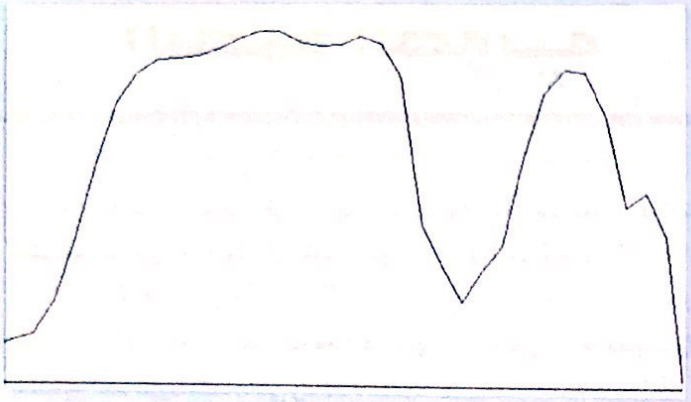
ويمكن قراءة الرسوم الطيفية والتعرف على الأصوات اللغوية المنطوقة دون سماعها. فهناك خصائص أكوستيكية يمكن بواسطتها التعرف على جميع الأصوات اللغوية، كالباء والتاء والثاء، إلخ.

ومع تسارع التقدم التقني ظهرت بطاقات وبرامج يمكن تحميلها على الحاسوب الشخصي واستخدامها في تحليل الموجات الصوتية. والرسوم المرفقة ما هي إلا نتاج لهذا التحليل باستخدام جهاز معمل الصوتيات الحاسوبي التابع لمركز علوم وتقنية الأصوات بمدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية. ويمكن عمل عدة تحاليل أكوستيكية بهذا النوع من الأجهزة (الأشكال ٣ ــ ٧). إذ يمكن قياس شدة الصوت، وتردد الحبلين الصوتيين، وتردد وطول معدل تمثيل العينات bandwidth، بدقة بالغة.

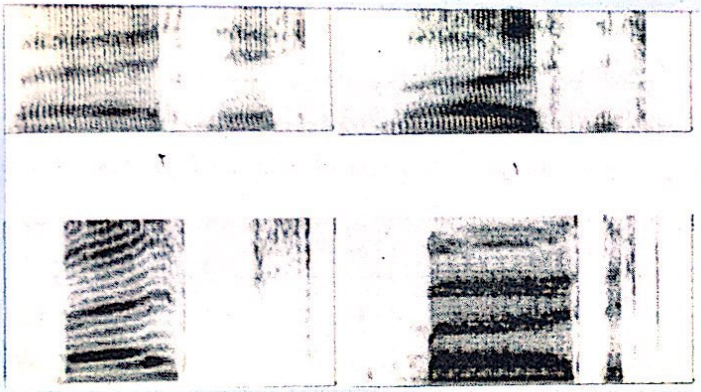
وبعد التعرف على الجهاز الصوتي والخصائص الأكوستيكية للموجات الصوتية الصادرة عن الجهاز الصوتي. يأتي السؤال عن أهمية التعرف على المتحدث من خلال صوته. ما هي الفائدة المرجوة من وراء ذلك؟



الشكل ٥. تردد الحبلين الصوتيين بالهرتز لنطق كلمة "كتاب". وهو هنا بالنسبة لهذا المتحدث يقع بين ١٠٠ و ٢٠٠ هرتز (معيار الزمن هو نفس المعيار في الشكل٤، وتوزيع الأصوات هو المعروض في الشكل ٣).



الشكل ٦. شدة الصوت للكلمة السابقة "كتاب". وتتراوح الشدة هنا بين ٣٠ و ٨٠ ديسيبل لهذا المتحدث. نلاحظ ارتفاع درجة الشدة في حالة الكسرة التي تلي الكاف وفي حالة الألف. بينما تكون في أقل مستوى لها في الكاف والتاء والباء (معيار الزمن هو نفس المعيار في الشكل٤، وتوزيع الأصوات هو المعروض في الشكل ٣).



الشكل٧. الرسوم الطيفية للموجات الصوتية لأربعة متحدثين مختلفين وهم ينطقون كلمة "كتاب". ويلاحظ الفرق الواضح لكل متحدث من حيث تردد النطق الرنينية. أمد الصوت، تردد الحبلين الصوتيين، والتباين في شدة الصوت. أحد المتحدثين في هذا الشكل هو المتحدث نفسه في الشكل٤. هل تستطيع التعرف عليه؟

توظيف "البصمة الصوتية" تقنياً

هناك العديد من الأبحاث والباحثين والمراكز البحثية ومصانع الإلكترونيات التي تعنى بموضوع التعرف على المتحدث. فلماذا كل هذا الاهتمام؟

كثير من الإنجازات المعاصرة كالطيران والمذياع والسفر للفضاء وغيرها كانت مجرد خيال لا يمت للواقع بصلة، وسرعان ما أصبحت حقائق ينعم بخيرها كثير من الناس. وكان استخدام الصوت كشفرة تدل على صاحبه خيالاً قبل مئات السنين، وقد يكون العرب هم أول من فكر في ذلك في قصص علي بابا عندما كان يخاطب بوابة المغارة "افتح ياسمسم". وقد أصبح هذا ممكنا تقنيا في هذا العصر. ويتوقع المختصون بشيوع استخدامه في السنوات القليلة القادمة.

"البصمة الصوتية"

ومن تطبيقات التعرف على المتحدث استخدامه بديلاً عن المفتاح. فعندما تطلب صوتياً من باب منزلك أن ينفتح أسهل وأسرع وآمن بكثير من استخدام المفتاح. إذ لا عليك أن تقلق بعد ذلك من ضياع المفتاح أو سرقته أو سوء استخدامه فأنت تحمل مفتاحك معك في جهازك الصوتي أينما ذهبت. ولا يستطيع أحد غيرك فتحه حتى ولو كان محترفاً في تقليد الأصوات.

ليس هذا فحسب، ولكن هناك أبحاث تدعمها شركات تصنيع السيارات في الولايات المتحدة الأمريكية منذ بداية الثمانينيات تطمح أن توصل نتائجها إلى التفريق بين صوت الإنسان الطبيعي وصوته وهو مخمور وذلك للحد من قيادة المخمورين للسيارات باعتبار ذلك السبب الرئيس في حوادث السيارات في الغرب.

وقد تم في العام المنصرم إنجاز بحث في معهد جورجيا التقني تبين نتائجه أن من الممكن التفريق بين صوت الإنسان في حالاته النفسية المختلفة. هذا يعني أنه لو وظف التعامل مع آلات الصرف في البنوك صوتياً فإن الآلة لن تستجيب لشخص واقع تحت التهديد.

ويتوقع العلماء أن يصبح في معظم البيوت حاسوب يتولى تصريف شؤون المنزل وساكنيه. ويتعامل مع قاطني المنزل صوتياً. فيستجيب لأصحاب المنزل ويتجاهل الغرباء، ليقوم بتنفيذ الكثير من الأوامر المتعلقة بتصريف شؤون المنزل كالتحكم في مفاتيح الكهرباء والأجهزة المنزلية إضافة إلى الاتصالات الخارجية لعمل الحجوزات وترك وأخذ رسائل صوتية لنقلها إلى صاحب المنزل.

استخدام "البصمة الصوتية" كقرينة في المرافعات القضائية

يحدث أحياناً أن تصل رسالة صوتية إلى شخص عبر الهاتف أو أداة تسجيل أو من خلف الباب. وتحمل الرسالة تهديداً، ثم ترتكب جريمة لها علاقة بالرسالة الصوتية. عندها قد يطلب من الشخص أن يكون شاهداً في المحكمة وقد يكون نفسه مدعيا يحمل تسجيلاً للرسالة الصوتية. ومن ثم فقد يستعين القاضي بمحلل أصوات ليقدم تقريراً عن مدى تشابه صوتين أو أكثر (أحدهما هو الرسالة الصوتية المسجلة).

منذ بداية وجود الإنسان وهو يستخدم الصوت للتعرف على المتحدث. ولا شك بأن هذه القدرة قد وصلت إلى المحاكم على مر العصور وفي جميع الثقافات الإنسانية. فنجد الشاهد أو المدعي يقول "لقد سمعت فلاناً يقول كذا وكذا". وقد لا يشير بأنه كان يشاهده أثناء الحديث. ورغم درجة الدقة التي قد يصل إليها سمع الإنسان في هذه الحالة إلا أنها لم تثر انتباه العلماء لمعالجة هذا الأمر علمياً. حتى حدثت قضية في الولايات المتحدة الأمريكية سنة ١٩٣٥م، عرفت بقضية الولايات المتحدة ضد هبتمان. وفيها كان هبتمان متهماً باختطاف ابن العقيد تشارلز لندبيرغ. وأثناء المرافعات قال تشارلز بأن صوت المتهم هو نفسه الذي سمعه عبر الهاتف يطلب فدية لابنه المختطف وأدين هبتمان وحكم عليه بالإعدام. ولأن الحكم بني على أدلة كان أهمها التعرف على صوته، فلقد ثار الجدل حول مدى صحة التعرف على الصوت. وبدأ العلماء من ذلك التاريخ إلى الآن البحث والدراسة وتطوير الأجهزة للوصول إلى أدق الطرق وأيسرها وإظهار عيوب ومزايا كل عملية مستخدمة في التعرف على صاحب الصوت.

وتم إضافة طرق جديدة لتلك التقليدية في محاولات متتابعة لحل هذا اللغز حتى أصبح هناك العديد منها. ويمكن تصنيفها إلى شخصية وموضوعية. فالشخصية هي التي يتولى الحكم فيها شخص أما الموضوعية فجهاز هو الذي يحكم بمدى تشابه الأصوات من عدمه.

ومن الطرق الشخصية الاعتماد على السمع فقط ومنها الاعتماد على التحليل البصري للموجات الصوتية (الشكل ٧)(٢). وهناك أجهزة مطروحة في الأسواق تقوم بعمل أحكام موضوعية. ولا يعني أن الطرق الموضوعية أكثر دقة من الطرق الشخصية. فكثير ما يكون الحكم الشخصي أقل خطأ من الأجهزة خصوصاً إذا ما كان المحلل الصوتي ذا خبرة جيدة في هذا المجال.

ويمكن في الختام القول بأن هناك خطى حثيثة لإضافة الصوت كبصمة تميز كل إنسان عن بقية الناس. يدفع هذه الخطى تطور تقني مستمر في مجال الإلكترونيات والحوسبة. كما أن هناك قضايا اجتماعية تشحذ همم الباحثين للإسراع في هذا المضمار. فكما ظهرت بصمة الأصبع قبل قرن من الزمن ثم البصمة الأحيائية DNA قبل عقد وظهرت بصمة القزحية، فإن هناك إمكانية كبيرة لظهور البصمة الصوتية كحقيقة يمكن لجميع أفراد المجتمع الاستفادة منها ومن تطبيقاتها في المجالات الحياتية المتعددة ■

الهوامش:

١. وضعت البصمة الصوتية بين قوسين حيث إنها ليست بصمة كما هو الحال في بصمة الأصابع والبصمة الأحيائية DNA وبصمة القزحية.

٢. الرسم الطيفي ٢ في الشكل ٦ هو المشابه لذلك في الشكل ٤. وهناك العديد من أوجه الشبه بينهما التي لا يتسع المجال لذكرها هنا ولكن يمكن للقارئ ملاحظة التباين الكبير بين تردد النطق الرنينية في الرسمين.