کتابخانه و مرکز اطلاع رسانی
بنیاد دایرة المعارف اسلامی

۱۷

علـوم اللغـة

دراسات علمية مُحَكّمة تصدر أربع مرات فى السنة

كتـــاب دوري

المجلد الخامس | العدد الأول | ٢٠٠٢

رئيس التحرير
أ.د. محمود فهمى حجازى (القاهرة)

نائبا رئيس التحرير
أ.د. سعيد حسن بحيرى (عين شمس)
أ.د. عمر صابر عبد الجليل (القاهرة)

مدير التحرير
د. مجدى إبراهيم يوسف (حلوان)

مرکز تحقیقات کامپیوتری علوم اسلامی

المستشارون العلميون

أ.د. جوزيف ديشى (ليون ٢)
أ.د. حسن حمزة (ليون ٢)
أ.د. حمزة المزينى (الرياض)
أ.د. رئيف جورج خورى (هيدلبرج)
أ.د. السعيد محمد بدوى (الجامعة الأمريكية بالقاهرة)
أ.د. فولفديترش فيشر (ارلانجن)
أ.د. عبده على الراجحى (الاسكندرية)
أ.د. كمال محمد بشر (القاهرة)
أ.د. مانفرد فويدخ (أمستردام)
أ.د. محمد عونى عبد الرءوف (عين شمس)
أ.د. عبد الفتاح البركاوى (الأزهر)
أ.د. صلاح الدين صالح (بنى سويف)

شماره ثبت ۹۰۸۲۹

بسم الله الرحمن الرحيم

علـوم اللغـة

دراسات علمية مُحكَمة تصدر أربع مرات فى السنة

كتاب دورى

مج٥ ، ع١ ٢٠٠٢

ⓒ حقوق الطبع والنشر محفوظة ، ولا يسمح بإعادة نشر هذا العمل كاملا أو أى قسم من أقسامه ، بأي شكل من أشكال النشر أو استنساخه أو ترجمته ، أو اختزانه في أى شكل من أشكال نظم استرجاع المعلومات ، إلا بأذن كتابى من الناشر .

قيمة الاشتراك السنوى :

٨٠ جنيهًا مصريا	(داخل جمهورية مصر العربية)
٨٠ دولارا أمريكيا	(خارج جمهورية مصر العربية شاملا البريد)

سعر العدد :

٢٠ جنيهًا مصريا	(داخل جمهورية مصر العربية)
٢٠ دولارا أمريكيا	(خارج جمهورية مصر العربية شاملا البريد)

أسعار خاصة للطلبة :

المراسلات :

توجه جميع المراسلات الخاصة إلى :

دار غريب للطباعة والنشر والتوزيع

ص . ب (٥٨) الدواوين – القاهرة ١١٤٦١ القاهرة – جمهورية مصر العربية

تليفون ٧٩٤٢٠٧٩ فاكس ٧٩٥٤٣٢٤

المحتويات

البحوث	الصفحة
- التحليل الفيزيائي للكلام أ. د. محمد صالح الضالع	٩
- الاتجاهات المعاصرة في علم الأصوات التجريبي د. خالد السيد محمد رفعت	٤٧
- ظاهرة المد الفرعي في الأداء القرآني دراسة تطبيقية للمدة الزمنية د. أشرف عبد البديع عبد الكريم	٨٩
- Pragmatic and Linguistic problems in the translation of Naguib Mahfouz's the thief and the Dogs : Acase study. *Ahmed - Sokarno Abdel-Hafiz*	٣

مرکز تحقیقات کامپیوتری علوم اسلامی

«التحليل الفيزيائى للكلام»

Acoustic Analysis of Speech

د . محمد صالح الضالع

قسم الصوتيات

كلية الآداب - جامعة الإسكندرية

مقدمة :

يحاول هذا البحث أن يقدم عرضا عاما ومجملا عن اتجاه معاصر فى علم الأصوات التجريبى ، وهو التحليل الفيزيائى للكلام . ويتناول هذا الاتجاه الخصائص الفيزيائية لأصوات الكلام ووحداته بوصفها موجات صوتية بعد أن يلفظها الفم وقبل أن تصل إلى أذن السامع . ومع ذلك يستعين هذا المجال أحيانا ببعض من مصطلحات المجالات الأصواتية الأخرى فى ميدان علم الأصوات ، وبخاصة المصطلحات النطقية الفسيولوجية والسمعية الإدراكية ، إما بيانا لما يحدث فيزيائيا فى عملية إنتاج الأصوات ، وإما برهانا على المعطيات الفيزيائية التى قدمها التحليل .

ويعتمد التحليل الطيفى الفيزيائى على استخدام تقنية البحث المعملى الذى يستعين بالأجهزة . وعلى الرغم من مشاكل الضبط الآلى للأجهزة وقياساتها ، يمدنا هذا النوع من التحليل ببيانات موضوعية واضحة إلى حد ما عن فيزيائية الكلام ووحداته يؤثر معظمها على استقبال الكلام وإدراكه .

ويتناول هذا البحث النقاط الآتية :

١ - تعريف بالاتجاه التجريبى المعاصر فى إطار علم الأصوات .

٢ - الدرس الفيزيائى للكلام .

٣ - التحليل الطيفى المعاصر .

علم الأصوات :

علم الأصوات Phonetics هو درس الظواهر الأصواتية التى تتصل بالكلام والبحث فى مكوناته وسماته ، وهو جزء هام ومنهم لفروع اللسانيات Linguistics .

ويحوى درس الكلام البحث العلمى لكل مراحل التواصل المنطوق بدءا من تشفير الأصوات وإنتاجها ، ثم تحليل الإشارات الفيزيائية acoustic signals التى تحدث فى قناة النطق نتيجة لاختلاف أشكالها ، حتى تصل إلى أذن السامع فتقوم باستقبالها وفك شفرتها وإدراكها .

ويختلف الباحثون فى اهتمامهم بمراحل التواصل . فمنهم من يقصر بحثه على مرحلة واحدة ، ومنهم من يجمع بين مرحلتين ، ومنهم من يجمع بين المراحل الثلاث ، فى لغة واحدة ، أو فى لغات متعددة ، وقد يكون ذلك فى النظرية أو فى التجريب .

واتسع البحث العلمى فى الأصوات وتعددت فروعه ومناهجه ، ولا سيما بعد أن دخل فى زمرة باحثيه باحثون من مجالات شتى مثل علم النفس ، وعلم الاجتماع ، وأمراض الكلام والسمع ، وهندسة الاتصالات ، وعلوم الحاسوب .

علم الأصوات التجريبى : Experimental Phonetics

هو العلم الذى يدرس الظواهر الأصواتية دراسة تجريبية experimental مستعينا بالآلات التى تقوم بتحليل المادة الأصواتية التى هى موضع الدرس ولذلك يطلق عليه أيضا instrumental phonetics [1] . وتتناول مناهج علم الأصوات التجريبى مراحل التواصل الكلامى المختلفة وهى :

- علم الأصوات النطقى articulatory phonetics .

---

(١) لمزيد من تحديد هذين المصطلحين وغيرهما وتاريخ استعمالهم انظر ص ٣٣ من كتاب : «دراسة الصوت اللغوى» للدكتور أحمد مختار ، عالم الكتاب ١٩٨٥ الطبعة الثالثة .

• علم الأصوات الفيزيائى acoustic phonetics .

• علم الأصوات السمعى auditory phonetics .

ويقابلها أيضا الميادين الآتية على التوالى :

• إنتاج الكلام speech production

• فيزياء الكلام speech acoustics .

• إدراك الكلام speech perception

وهدف علم الأصوات التجريبى إلى تصميم التجارب المعملية وشرح البيانات والنتائج وتفسيرها من خلال معطيات علم الأصوات ونظرياته ، ليتم تكامل البحث النظرى مع البحث التجريبى ، فنظرية بلا تجربة نظرية خاوية ، وتجربة بلا نظرية تجربة عمياء .

ويتبع علم الأصوات التجريبى بطبيعة الحال المنهج التجريبى فى بحوثه ، والمنهج التجريبى يقدم لنا الطرق المختلفة للإجراءات التجريبية التى تضمن أكبر نسبة من الموضوعية ، وتعمل بقدر الإمكان على البعد عن الأخطاء الذاتية ، ومن خلالها يتدخل البحث العلمى فى الضبط التجريبى من حيث ترتيب الظروف التى تقع فيها الظواهر والتحكم فيها بطريقة تعين على اكتشاف التأثر والتأثير . فلو اقتصر العلم فى بحوثه على انتظار وقوع الأحداث والظواهر فى الطبيعة أو فى الواقع لتأخرت النتائج وكان سير معطياته العلمية بطيئا .

ولا يستطيع الباحث أن يختبر الفروض العلمية للظاهرة فى كل حين ، فقليلا ما تتاح أمام الباحث فرصة الوقوف على الظواهر الطبيعية من ناحية ، ومن ناحية أخرى ، كثيرا ما تحدث الظاهرة تحت ظرف واحد أو تحت ظروف مشوشة طارئة . ففى الإجراء التجريبى يستطيع الباحث أن يضع الظاهرة فى ظرف أو أكثر يمكنه من ضبطه والتحكم

(١) انظر Painter ص ٣. وارجع أيضا إلى الشكل (٣) فى هذا البحث الذى أخذ من الصفحة نفسها .

فيه أو عزله . ويقوم بذلك فى تخطيط تجريبى يضبط فيه المتغيرات ويتحكم فى أبعادها دون انتظار لوقوع الظاهرة .

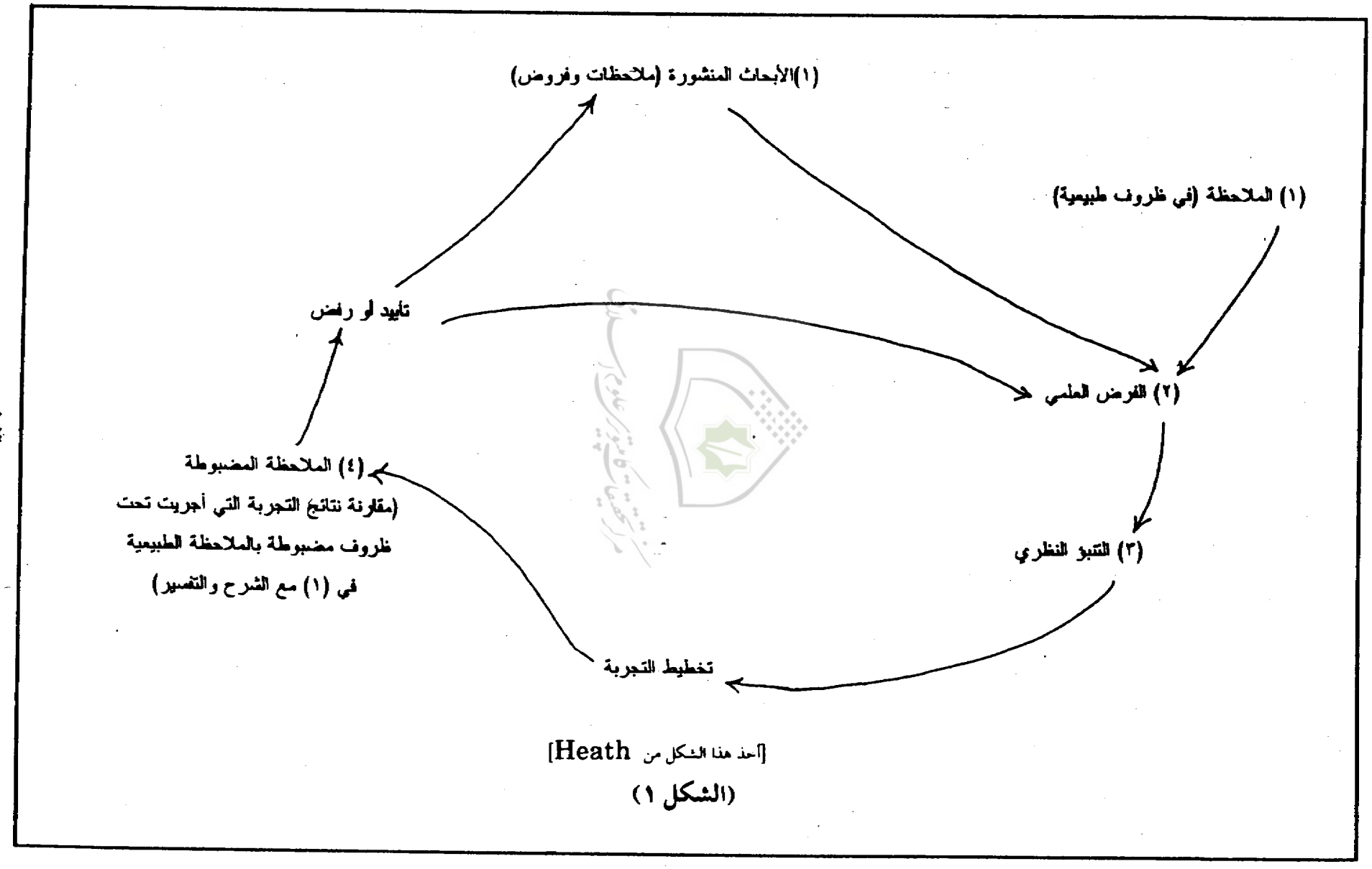
ونضرب لذلك مثلا القيام بتسجيل حديث واقعى فى السوق أو المنزل وسط الضوضاء الطبيعية المحيطة حيث تعمل تلك الضوضاء على تشويش المادة الأصواتية المسجلة ، مما يؤدى إلى صعوبة تحليلها تحليلا طيفيا دقيقا .

وقد تطرأ أبعاد ومتغيرات جديدة فى أثناء التجربة يكتشفها الباحث ، ومن ثم يكتشفها العلم ، وبخاصة عند جمع بعض الظروف والأحوال التى لا تأتى مجتمعة أو مقترنة فى الطبيعة . ولذا يعد النهج التجريبى أسرع من النهج غير التجريبى فى تطور نظريات العلم وتقدمها .

والتجربة فى أبسط صورها تقوم على اختبار فرض علمى تختار له عينة أو أكثر فى إطار محكوم تضبط متغيراته ، ثم نلاحظ ما يحدث ونقيسه بالمقاييس الدقيقة المناسبة ونسجلها ونعرضها ونناقشها مناقشة علمية .

والفرض العلمى هو إجابة محتملة عن سؤال المشكلة أو الظاهرة ، أو هو استنتاج متوقع يصل إليه الباحث من طبيعة المشكلة نفسها . وفى هذه الحالة لابد أن يرتكز الباحث على معلومات أو يعتمد على نظرية يستمد منها تصوره .

ويبين لنا الشكل الآتى خطوات التجربة وعناصرها :



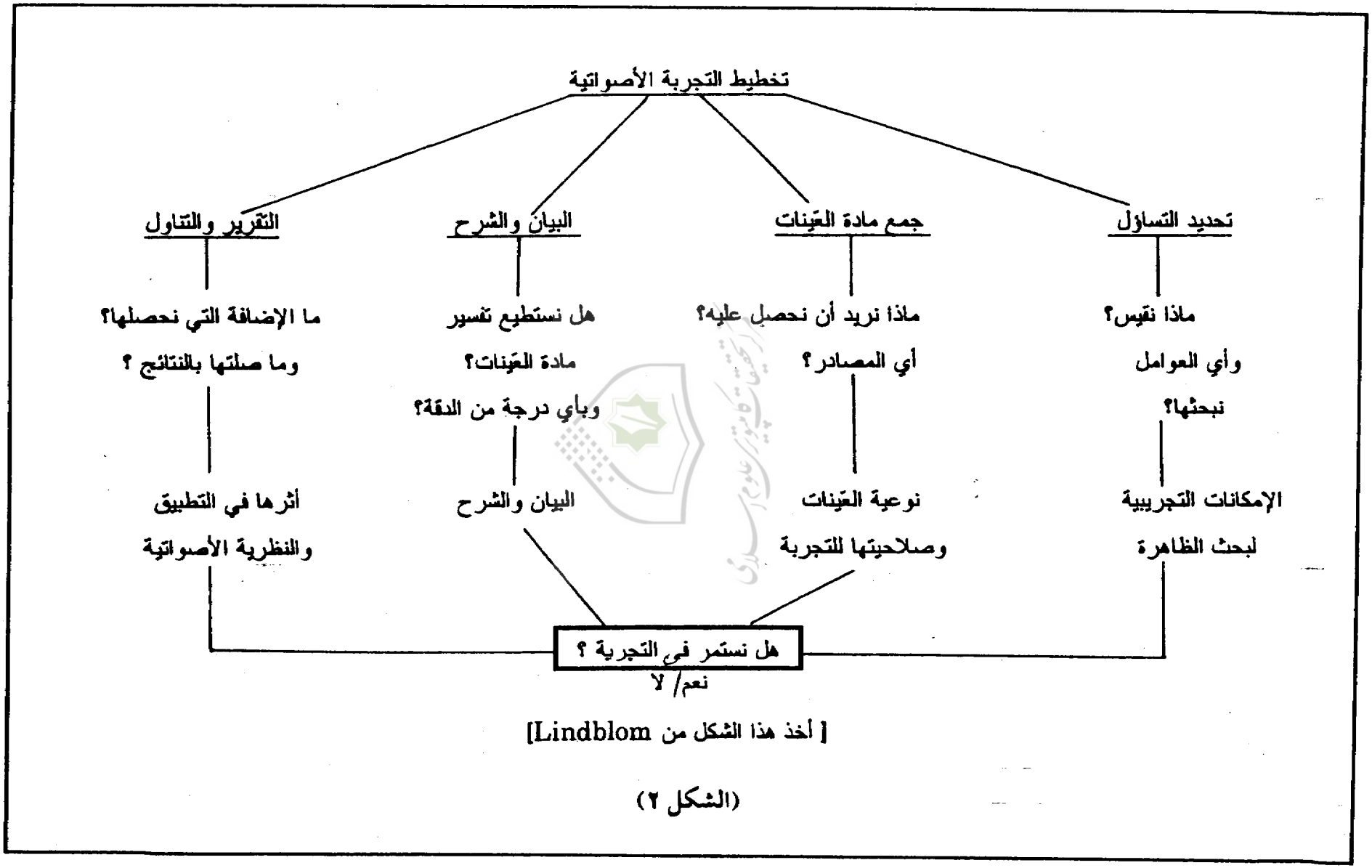
[أخذ هذا الشكل من Heath]

(الشكل ١)

وتعد الخطوة التجريبية التى تعنى بتخطيط التجربة وإعدادها أهم مرحلة فى إعداد التجربة وتحديد مسائلها ومسارها . ولذا فقد اهتم بها لندبلوم Lindblom وهو من أبرز علماء الأصوات فى العالم بعد أن بدأ نشاطه العلمى الذائع الصيت فى السويد .

ويبين الشكل الآتى أهم مرحلة فى التجريب الأصواتى وهى تخطيط التجربة الأصواتية التى من خلالها نتحكم تجريبيا فى درس الظاهرة والتنبؤ بجدواها فى علم الأصوات وتطبيقاته :

مرکز تحقیقات کامپیوتری علوم اسلامی



[أخذ هذا الشكل من Lindblom]

(الشكل ٢)

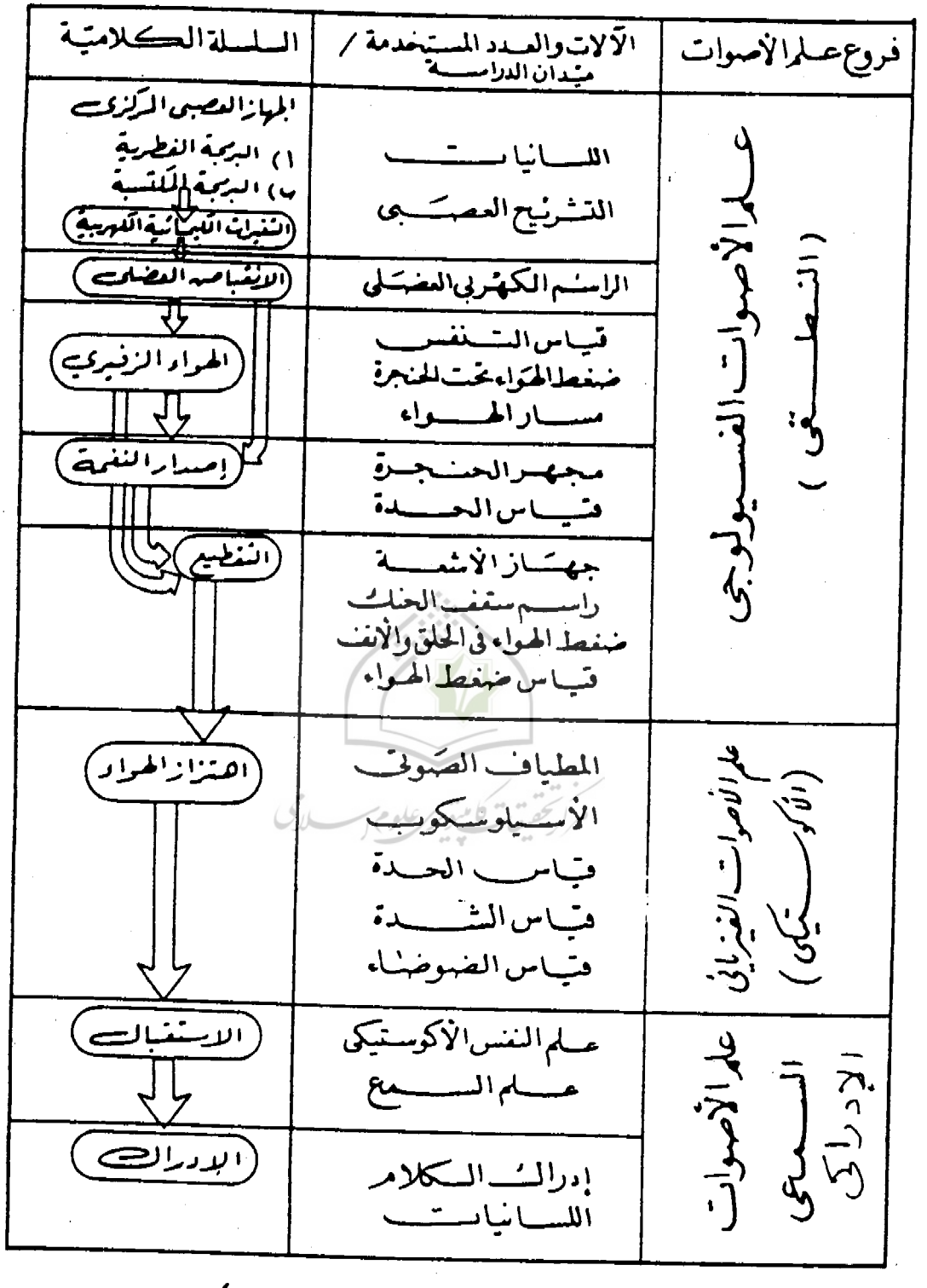
المنظومة الكلامية Speech Chain

تشمل عمليات النطق والتلفظ أنشطة متعددة من مختلف الأجهزة الحيوية فى أعضاء النطق ، بدءا بعملية التنفس وجهازها ، فمنطقة الحنجرة وأجزائها ، مرورا بمناطق الممر الصوتى وأعضائه .

وتشفر الرسالة اللغوية فى أنماط صوتية تتكون من خصائص فيزيائية تحدد الأصوات المفردة ورصفها ، تعلوها قوالب صوتية بروسودية مكونة من عناصرها الثلاثة: النغمة الأساس fundamental frequency ، والشدة intensity ، والمدة duration .

وتتم عمليات هذه العناصر من خلال تحكم معقد من التنسيق والقولبة والتركيب فى مرحلتين : مرحلة التخطيط العصبى الذهنى، ومرحلة التنفيذ النطقى . وتقوم مرحلة التخطيط بدور مهم فى هذا التحكم من حيث التراكب والتراتبية .

وتوصف عمليات التنفيذ من خلال الأبعاد الإدراكية وآليات فهم الكلام واستقباله . ويبين الشكل (٣) الميادين المختلفة التى تعنى بالدرس الأصواتى وآلاته حسب مراحله المختلفة . ويقتصر هذا البحث على مجال التحليل الفيزيائى للكلام ، وهو من أكثر المجالات التجريبية ارتباطا بسائر مراحل المنظومة الكلامية .



(أخذ هذا التشكل من Painter)

(الشكل ٣)

فيزياء الكلام :

يصدر الكلام من جهاز النطق الذى يقوم بأهم وظيفة حيوية وهى التنفس ، وأهم أعضائه الرئتان والحنجرة والحلق والتجويف الأنفى والتجويف الفموى الذى يحتوى معظم أعضاء النطق ومخارجه . والكلام هو غاية النتاج الفيزيائى لحركات الجهاز التنفسى والمضغى المنمطة إراديا . وهو سلوك حركى لابد من تعلمه وتعديله والتحكم فيه والمحافظة عليه بالرجع الفيزيائى لآلية السماع ، والرجع الحركى للعضلات التى تتحكم فى إصدار الكلام [١] .

والطريق الذى يمر فيه الهواء بعد خروجه من القصبة الهوائية يطلق عليه «الممر الصوتى» vocal tract . والممر الصوتى فيزيائيا أنبوب غير موحد الشكل nonuniform فى مقطعه العرضى يبدأ بالوترين الصوتيين وينتهى عند الشفتين [٢] .

وتتم عملية النطق بأن يندفع الهواء الذى فى الرئتين إلى الحنجرة ومنها إلى سائر الممر الصوتى حتى يخرج من الشفتين مكونا مصدر طاقة هوائية تتشكل بطرق كثيرة حسب الأشكال والمخارج التى تتخذها سائر الأعضاء والتجاويف . ومن هذه الطرق والأشكال تصدر الأصوات المختلفة مكونة وحدات الكلام وأجزاءه (انظر الشكل ٤) .

ونتيجة لهذا التشكيل الفسيولوجى يحدث الرنين resonance الذى يعد أهم مكون فيزيائى فى تحديد صفات الأصوات اللغوية وخصائصها . فالرنين هو أساس التوافقيات harmonics التى تتحدد بها مكونات formants طيف الكلام speech spectrum [٣] . ويظهر ذلك جليا فى الأصوات ذات التموج الدورى periodic أو شبه الدورى quasi periodic مثل الصوائت vowels والأصوات الجهيرة sonorants (انظر الشكل ٥) .

---

(١) انظر Flanagan ص ٩ - ١٥ .

(٢) المصدر نفسه .

(٣) انظر Painter ص ٣ .

وجرى العرف عند علماء الأصوات أن يشيروا إلى هذه المكونات بترقيمها من أدنى الترددات إلى أعلاها ، وأدناها ترددا هو المكون الأول (ك١ F1) ويليه المكون الثانى (ك٢ F2) فالمكون الثالث (ك٣ F3) ... إلخ . وأهم المشخصات للصوت اللغوى المكونان ك١، ك٢ . وتتراوح تردداتهما فى المدى بين ٢٥٠ هرتس و ٣٠١٠ هرتس . ومع ذلك قد تشكل بعض المكونات العليا وبخاصة ك٣ و ك٤ ، أهمية ضرورية فى تشخيص بعض الأصوات فى بعض الحالات .

وتتم عملية إنتاج الكلام فى مراحل ثلاث :

(أ) المصدر :

بعد اندفاع الهواء من القصبة الهوائية يسلك أحد مسلكين : إما أن يمر من الفتحة التى بين الوترين الصوتيين ، وإما أن يقاوم إحكامهما . وعندما يندفع الهواء مقاوما الوترين فإنه يعمل على ذبذبتهما غلقا وفتحا . ويطلق على هذا التذبذب أو التردد «التصويت» phonation . ورنين هذا التصويت ومضاعفاته يحدث فى أجزاء الممر الصوتى الذى يعلو الحنجرة فيما يؤدى إلى حدوث المكونات . ويختلف تردد التصويت وتردد المكونات باختلاف حجم الحنجرة وكذلك الوتران الصوتيان وتوترهما.

وتختلف صفات كل صوت باختلاف نواحٍ ثلاث :

١ - مخرجه

٢ - جهره [1]

٣ - مدى اعتراض مرور الهواء

---

(١) تُرْجِمَتْ كلمة filter إلى الكلمة العربية «مصفاة» . فوظيفة المصفاة إسقاط الحبات أو الجزيئات التى لا يتعدى حجمها أو قطرها قطر ثقوب المصفاة أو أقل ، وتحجز ما هو أكبر . ووظيفة المصفاة الأصواتية السماح بتردد الموجات التى يتناسب طولها مع طول موجة تجويف الرنين بل تقويها وتخمد غير ذلك من الموجات .

(ب) الرنين :

ظاهرة فيزيائية مؤداها أن لكل جسم أو تجويف ميلا طبيعيا للاهتزاز أو لاهتزاز هوائه عند استقباله لتردد معين محدثا ترددا مساويًا له مع تقوية سعته. وتقوم أجزاء الممر الصوتى وتجاويفه التى تعلو الحنجرة بمهمة الرنين ، أو بمهمة المصفاة filter التى تقوّى بعض الترددات وتخمد بعضا حسب الشكل الذى تتخذه ذبذبات الهواء المندفع فى جنباته. [١] .

وقدّر العلماء الممر الصوتى بدءا بالوترين الصوتيين وانتهاء بالشفتين بأنبوب مغلق من جهة الحنجرة ومفتوح عند الشفتين طوله ١٧ سم عند نطق الصوائت (انظر الشكل ٦) . ويتوحد شكل الأنبوب عند نطق الصائت القصير جدا [ə] (انظر الشكل ٤، ٦) . وحيث إن التردد يبدأ بربع الموجة الكاملة ، فإن طول الموجة لمثل هذا الأنبوب ١٧×٤=٦٨ سم ويبلغ مكونه الأول ٥٠٠ هيرتس وتتضاعف المكونات العليا تضاعفا فرديا : ١×٣ ، ١×٥، ١×٧ ... إلخ . فتصير مكوناته الثلاثية كالآتى : ك١ = ٥٠٠ هيرتس ، ك ٢ = ٥٠٠ هيرتس ، ك٣ = ٢٥٠٠ هيرتس . وفى الواقع نادرا ما يكون أنبوب الممر الصوتى شكلا موحدا ، بل يتغير شكل طوله ، ومن ثم يتغير تشكيله وصورته عند كل صائت [٢] .

(جـ) الإصدار :

تؤدى الأنواع المختلفة من التدخل فى تيار الهواء إلى إنتاج الموجات الصوتية إذ تحدث ذبذبات شبه دورية فى تجاويف الرنين التى توجد فى الممر الصوتى ، وبخاصة فيما بين الوترين الصوتيين وهو ما يطلق عليه فى هذه الحالة «الجهر» voice [٣] . أو ما

---

(١) انظر Holmes ص ١٢ - ٢٥ ، وأيضا Miller ص ٣٧ - ٤٦ .

(٢) المصدران السابقان .

(٣) ترجمنا المصطلح vioce بالمصطلح العربى «الجهر» . ويدل هنا على ظاهرة الجهر والهمس ، كما يدل مصطلح «السرعة» على درجات السرعة والبطء .

يحدث مثلا عند اللثة والأسنان من اضطراب الهواء الكافى لحدوث الصوت الاحتكاكى [s] .

فمن الناحية الفيزيائية إذن يقوم الممر الصوتى بمهمتين : توليد أصوات الكلام وتكوين صناديق الرنين المتغيرة التى تحدثها قنوات الممر وتجاويفه حيث تستجيب لترددات الأصوات المتولدة تقوية وتوهينا .

وتحدث الأصوات فى الممر الصوتى بطريقتين :

١ - تكوين قنوات الأصوات الاحتكاكية النطقية الصغرى حيث تتولد ضوضاء هسيسة hissnoise من خلال اضطراب تيار الهواء فيها (انظر الشكل ٨) .

٢ - تسريح الهواء بانفجارات فائقة السرعة من خلال الوترين الصوتيين ، وبذلك يحدث الجهر voice . وفى حالة الاحتكاكيات المجهورة voiced fricatives يجتمع الهسيس والجهر . وتستجيب صناديق الرنين لكلا النوعين . وفى حالة الاستجابة التامة يكون هناك تركيز شديد للطاقة الفيزيائية فى حزم ترددية bands معينة ، كما هو الحال فى الأصوات المجهورة وبخاصة الصوائت .

مرکز تحقیقات کامپیوتری علوم اسلامی

وثمة نظريتان تفسران إصدار الصوائت فى الممر الصوتى . ترى الأولى أن تسريح الهواء بانفجارات فائقة السرعة يتجه إلى أعلى منطقة الحلق حتى تستقبله صناديق الرنين المتكونة فى الممر الصوتى . وفى هذه الحالة تُصْدر ذبذبات الوترين الصوتيين النغمة الأساس ثم تتردد النغمة فى مناطق الرنين محدثة مضاعفاتها الترددية التى تؤدى إلى ظهور المكونات formants .

وترى النظرية الأخرى أن صناديق الرنين تقوم بمهمة المصفاة filter حيث تختار الصناديق ما يتناسب مع تردداتها الفيزيائية فتقويها وتضعف الأخرى أو تخمدها . وتتحدد موجات الصناديق الرنينية فيما يتضاعف من النغمة الأساس حسب كل صائت . فلكل صائت طيفه الصوتى الفيزيائى الخاص به وتتمثل الموجات فى اختلاف القمم الطيفية التى هى نفسها المكونات الفيزيائية .

التحليل الطيفي Spectrography :

يعد التحليل الطيفي الأداة الأساسية عند وصف الأصوات واستخلاص معالمها الفيزيائية . وكان المطياف الصوتي sound spectrograph هو أهم جهاز في معمل الأصوات الفيزيائي منذ عام ١٩٤٢ حتى نهاية الستينيات . وعرف هذا الجهاز باسمه التجاري Sona-Graph . واستخدم في تحليل المنطوقات التي لا تزيد مدتها على ٢,٤ ثانية في صورة طيفية: متوازية الشكل تقاس الأصوات فيها من ثلاثة أبعاد:

١ - تقاس مدة الاستغراق الزمني في البعد الأفقي .

٢ - وتقاس درجة التردد في البعد الرأسي .

٣ - ويقاس مقدار الشدة بمقدار شدة اللون الأسود (انظر الشكل ١٣، ١٤، ١٥)[١] .

وألحق بالجهاز وحدة لقياس شدة المنطوقات في كنتور أفقي فوق أطياف الأصوات لتقطيع أصوات الكلام ومعرفة المقاطع المنبورة ومقارنة درجة نبرتها (شدتها) في الصورة الطيفية الواحدة . أما قياس كنتور التنغيم أو سلسلة النغمات فيجرى في جهاز مستقل مثل جهاز The Fundamental Tracker وجهاز Visi Pitch[٢] .

وأهم إضافة في مجال التحليل الفيزيائي للكلام أحدثت تغيرا ملحوظا في المعلومات الأخيرة هي المعالجة الرقمية للكلام digital processing of speech srgnals نتيجة للانتشار الواسع في استخدام أجهزة الحاسوب وتعتبر الطرق الرقمية digital methods عن طرق المعالجة بالوسائل النظيرة القياسية analog devices (عكس الرقمية الحاسوبية) بإعادة التحليل وبمرونة التحكم في أبعاده ومتغيراته، مما يؤدي إلى أن نكتشف آثار التغير والاختلاف على نحو أسهل وأسرع وبخطة في نماذج تحليل

(١) لمزيد من معرفة التحليل الطيفي للسوناجراف انظر Painter ص ١٢ - ٢٥ .

(٢) انظر Painter ص ٣٣ ، وانظر أيضا Fujimura & Ericson ص ٦٧ .

الكلام speech analysis وتصنيعه speech synthesis[1] دونما حاجة إلى تطوير الأجهزة وتحسينها في ضوء التقدم في العلوم الأخرى ذات الصلة.

وفي التحليل الرقمي للكلام استخدمت بعض الخوارزميات البرمجية. وأكثرها استخداما محولة فوريير السريعة Fast Fourier Transform (FFT). وبها تعرف خصائص الإصدار في الممر الصوتي (أنواع الرنين) والتردد الأساس الذي تصدره الحنجرة (انظر الشكل ٩).

وطورت محولة فوريير السريعة (FFT) هذين البعدين (الرنين والتردد الأساس) حيث يتجلى التحليل الطيفي على نحو أكثر وضوحا يهتم بقمم المكونات التي هي أساس التحليل الطيفي للكلام، دون الاهتمام بتفاصيل عديدة ويطلق عليها الكبسترم cepstrum[2]

---

(١) الكلام الاصطناعي speech synthesis ميدان تجريبي مازال في طفولته، ويحاول من خلال الترددات الإلكترونية ومركباتها صنع موجات صوتية تصنع منها أصواتا كلامية تشبه الأصوات اللغوية أو الفونيمات الكلامية البشرية. وقد استخدمت معطيات هذا الميدان في تحديد سمات الأصوات وطبيعة تركيبها وتراكبها بعضها مع بعض في منطوقات صوتية أطول من الفونيم، حيث تصنع المقاطع الأصواتية حسب أبعاد وسمات فيزيائية وسمعية.

وتدار هذه المقاطع أمام جمهور من المستمعين أو أشخاص في تجربة إدراكية حسب طبيعة كل لغة للتحكيم وإحصاء مدى الإدراك. ونتيجة لذلك يحسن التصنيع وتعدل المكونات.

ولذا يعد ميدان الكلام الاصطناعي وسيلة من وسائل التحليل الطيفي للكلام وطبيعته Analysis by Synthesis، ولكن من ناحية عكسية.

(٢) يقدم التحليل الكبسترى cepstral analysis طريقة لفصل البيانات الخاصة بالممر الصوتي عن البيانات الخاصة بالتصويت الحنجرى قبل التعديل والمضاعفة. وتقوم فيه التصفية homomoraphic بتحليل طيفي أكثر انسيابا (انظر الشكل ١٣).

والكبسترم cepstrum هو محولة transform عن محولة فوريير بحساب المحولة للشكل الموجي مع الزمن، حيث يؤخذ اللوغاريتم من مقدار المحولة. وبإجراء تحويل فوريير العكس لدالة اللوغاريتم نحصل على الكبسترم.

وأحدث تطور فى التحليل الطيفى للكلام هو التنبؤ الخطى Linear Prediction [1]. وهو وسيلة ناجعة لتقدير معاملات المصفاة الرقمية بطريقة إحصائية فى مجملها ، حيث تفترض إثارة نبضية impulse excitation (فى الأصوات المجهورة) قد تؤدى إلى (تنبؤ) فى الموجة الكلامية داخل الإطار التحليلى . وذلك لأن قسما من موجة الكلام قد يتطلب ٢٠٠ عينة من الإزاحة كى تمثلها فى الصورة الرقمية ، ويمكن تحديدها بصورة كافية من خلال ٨ ، ١٦ معاملا بالإضافة إلى بعض من تعيينات الإثارات النبضية [2].

ولطريقة التنبؤ الخطى قيمة خاصة فى التطبيقات حيث تعد فيها البيانات لإصدار الكلام Speech Transmission أو تخزينه بما فى ذلك مجال صنع الكلام speech synthesis . ويقدم لنا التنبؤ الخطى طريقة بديلة للمعالجة الكبسترية

---

(١) التنبؤ الخطى نموذج تجريدى لإنتاج الكلام. فإذا قيس ضغط الهواء فى الموجات الكلامية كل عشرة ملليثانية (أى ١٠/ ١٠٠٠ ثانية) فمن الممكن أن نتنبأ بقيمة القياسات التالية، حيث يعتمد التنبؤ على موازنة قيم القياسات الاثنى عشر السابقة كى نحصل على أثر التصفية filtering فى الممر الصوتى حيث يتغير شكله تغيرا بطيئا نسبيا .

ويأخذ التنبؤ الخطى فى حسبانه المصدر الراهن للطاقة فى الكلام. فقد يكون هذا المصدر سلسلة من النبضات كما هو الحال فى النغمة الأساس (اهتزاز الوترين الصوتيين)، أو يكون ضوضاء عشوائية (عند انفراج الوترين فى حالة عدم الاهتزاز) .

نبع هذا النوع من التحليل من الدرس الإحصائى للتتابعات الدورية من المادة الأصواتية، ويقدم لنا التنبؤ الخطى طريقة للتعرف على التغيرات التى تتقابل مع تغيرات الكلام ، أى تعرف الذبذبات المنتظمة فى الشكل الموجى نتيجة لتشكل المكونات الفيزيائية formants وظهرت تدريجيا منذ أواخر العقد السادس حتى أواخر العقد السابع ثم استقرت فى العقد الثامن وتطورت حاسوبيا فى العقد التاسع .

يستخدم متنبئ ما لعينة من التموجات الأصواتية عددا من عينات سابقة عليه. كل عينة تسهم فى تحديد التنبؤ بمقدار فى المعادلة $y_n = \sum_{k=o}^{k} b_k \, x_{n-k}$

ويطلق على هذا النوع من التحليل «التنبؤ الخطى » لأنه يستخدم تجميعا خطيا من العينات دون ضرب أو حاصل ضرب .

(٢)انظر Rabiner & Schafer ص ٣٨ - ٥٧ وص ٣٨٦ - ٤٠١ ، وانظر أيضا Wakita ص ٥ - ٢٨.

cepstrum كى نحصل على أطياف كلامية معدلة خالية من تفاصيل التوافقيات ونتوءاتها ، أو ما يطلق عليه علماء الأصوات «تحليل طيفى ناعم» spectrum smoothed (انظر الشكل ١٠ ، ١١ ، ١٢) .

وليس سهلا كما يبدو للوهلة الأولى أن تكون معرفة الإشارة الفيزيائية أمرًا ميسورًا . وأول واجب على الباحث فى هذا المجال أن يتعرف الخواص الثوابت من الناحية الفيزيائية بعد أن يعزل النواحى الهامشية فى اللغة extralinguistic من المنطوق (الرسالة المقصودة) .

وقد حاول العلماء والباحثون تحقيق الشرطين الآتيين فى تحليلهم :

١- الثوابتية Invariance :

توجد ثمة معلومات ثابتة فى الإشارة فى كل الحالات والأمثلة تقابل الوحدة الصوتية التى يدركها ابن اللغة. أى أن هناك سمة جوهرية ثابتة فى كل وقائع الوحدة الأصواتية .

مرکز تحقیقات کامپیوتری علوم اسلامی

٢- الخطية Linearity :

المعلومات الثابتة فى الإشارة مرتبة ترتيبا تتابعيا متسلسلا. فالمعلومات الموجودة فى الوحدة الأصواتية السابقة لا تسبق الوحدة الأصواتية التالية، أو تتداخل معها تداخلا كاملا .

وقد واجهت الباحثين صعوبات فى التحليل لا يستطيعون معها إقامة هذين الشرطين إقامة تامة نذكر منها :

١- أول دليل للتعرف على الصوائت هو المكونات (على الأقل المكونان الأول والثانى) فى مرحلة الاستقرار steady state حيث تسبقها بداية المكون onset المتأثر بالصوت السابق ، ويتلوها نهاية المكون offset المتأثر بالصوت اللاحق. ولكن فى الكلام الطبيعى التلقائى نادرا ما تتحقق مرحلة الاستقرار الوسطى فى المكونات حيث

تظهر الصورة الطيفية في حالة تحرك دائم التغير على طول الزمن الذي يستغرقه المنطوق . أضف إلى ذلك تأثير السياق الصوتي والسرعة والنطق الديناميكي وتركيب الجملة واللهجة واللغوة [1] .

٢- ظاهرة انتقالات المكونات formant transitions في المكونين الأول والثاني على المخرج place of articulation ولكن لطريقة النطق manner of articulation دليلها الواضح في الصورة الطيفية حيث يظهر بقوة أكثر من دليل المخرج [2] .

٣- ظاهرة مشاركة النطق coarticulation بين الأصوات المتتابعة في المنطوقات دليل قوى على التغير variablity وهو عكس الثبات وهي دليل أيضا على غياب الخطية حيث يوجد التداخل overlapping بين الوحدات الأصواتية [3] .

ومن التحليل الطيفي تحليل الخصائص البروسودية نذكر منها ظاهرة التنغيم :

حيث يجمع قياس التنغيم بين تحديد الزمن مع تحديد أقيم النغمات التي يشتمل عليها الكنتور المتصل للنغمة الأساس .

وعندما تضاف سلسلة النغمات المكونة للكنتور إلى المقاطع تأخذ القيم المناسبة لكل مقطع، أو سلسلة المقاطع، فاننا نفترض اتصال الكنتور حتى في الفجوات التي توجد بسبب بعض السمات الفيزيائية عند بعض الأصوات وبخاصة الصوائت الوقفية.

وحسب أنموذج المواءمة في التأثيث الصوتي وتنفيذه فان العناصر البروسودية تعلو المقاطع وحدود وحداتها حيث التفاعل الكبير بين التحكم النطقي والتحكم في النغمة الأساس عند تحقيق مواصفات الملامح الفونولوجية. وقد يعكس هذا التفاعل

(١) Wright, Frisch and Pisoni ص ٢٨٠ ، وانظر أيضا Fujimura & Ericson ص ٧١

(٢) المرجع السابق ص ١٤٠

(٣) المرجع السابق نفسه ص ١٧

الشروط الفسيولوجية والفيزيائية فى نظام إصدار الكلام الطبيعى. ومع ذلك تحتوى الإشارات الفيزيائية والسمعية مثل تلك التعديلات التى تحدث فى النغمة الأساس بوصفها جزءا من المعلومات الأصواتية [1] .

(١) انظر Harcastle & Laver ص ٦٥ - ١١٠، وانظر أيضا Clark & Yallop ص ٣٣١- ٣٣٩.

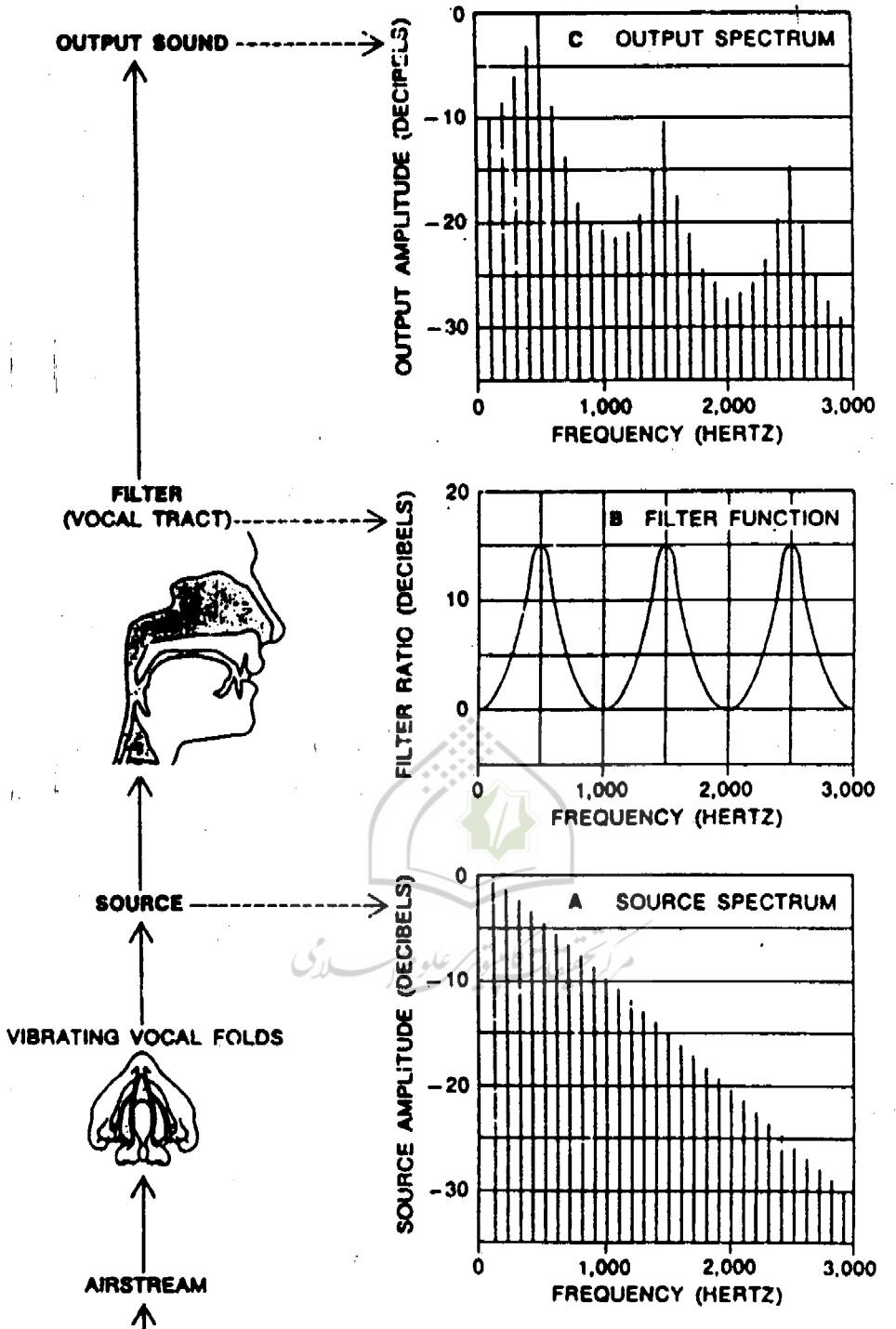
أمثلة لصور طيفية
فى
التحليل الفيزيائى

نطق المؤلف فى ميكروفون الحاسوب الكلمات الثلاث : « علم الأصوات التجريبى» مرتين : مرة تقريرا ومرة استفهاما تصديقيا. ثم قام المؤلف بتحليل موجى وطيفى وكنتورى للمنطوقات فى الحاسوب (حاسوب شخصى متوافق مع IBM) مستخدما ثلاث برمجيات :

Wincecil, Gram, PCQuirer

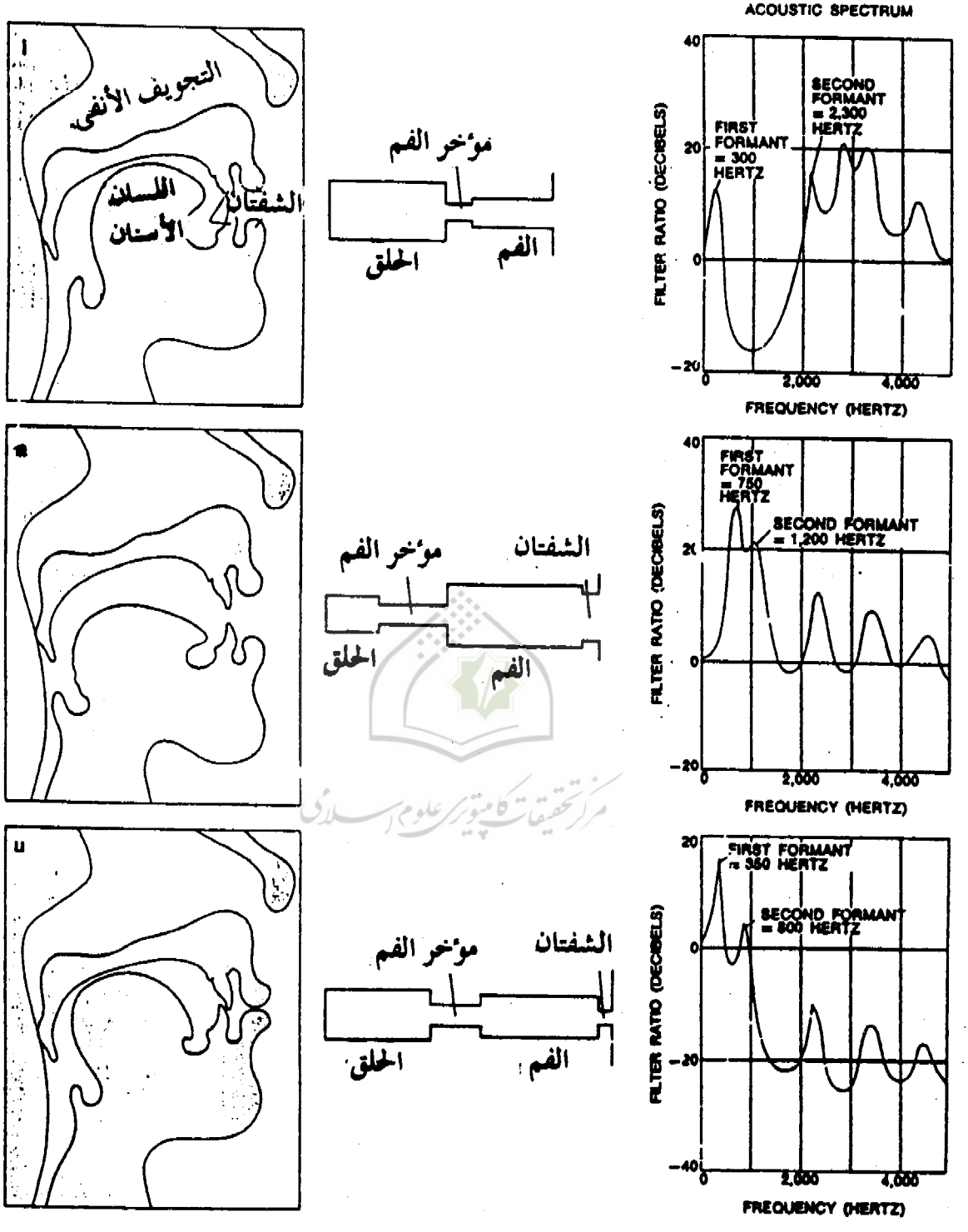
انظر الشكل (١٦ - ١٩)

مرکز تحقیقات کامپیوتری علوم اسلامی

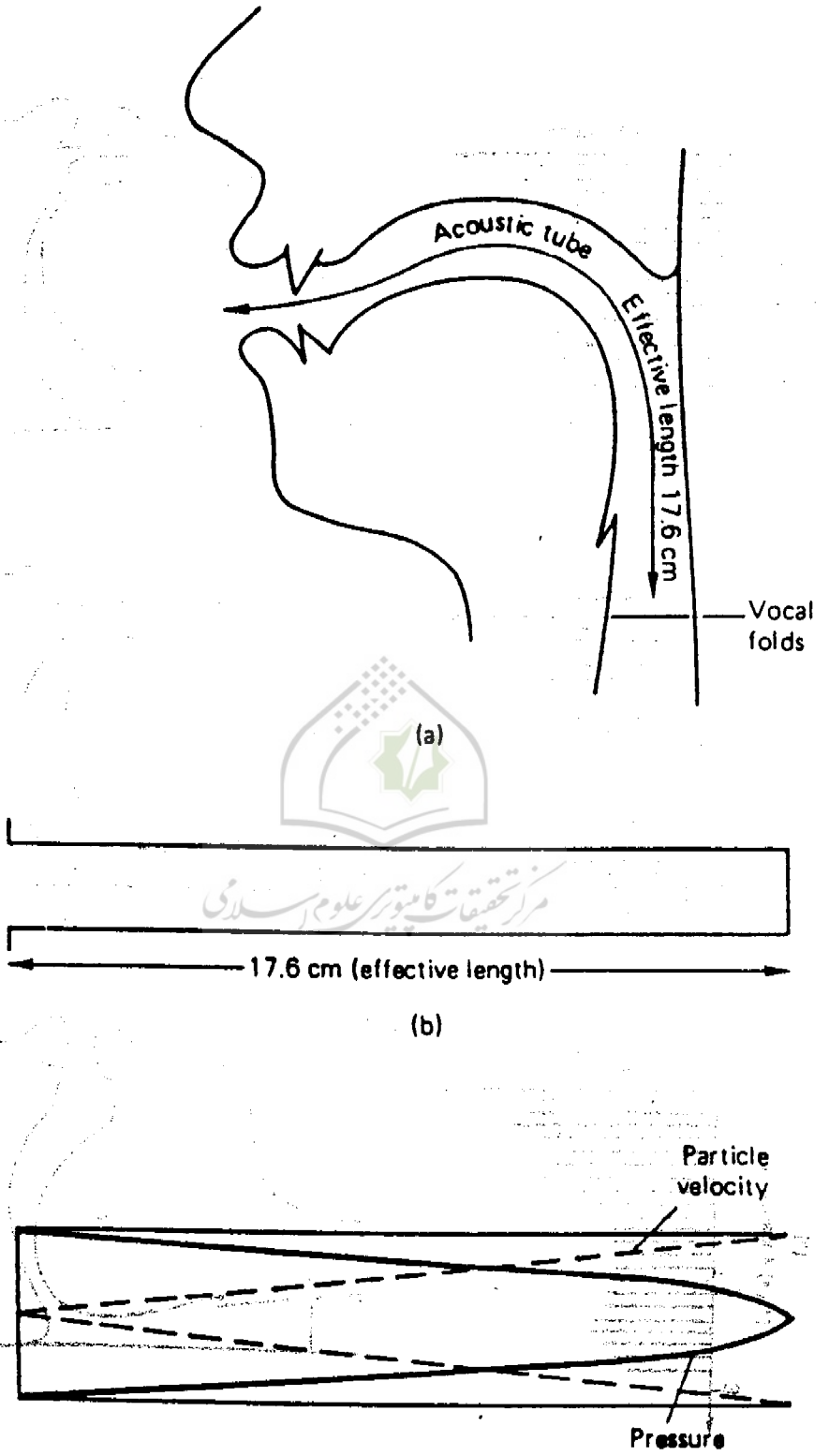


يبين الشكل مصدر الصوت والمصفاة في الممر الصوتي فيما فوق الحنجرة. ونتيجة لمرور التردد الأساس في المصفاة تزداد شدة بعض الترددات وتنخفض في البعض الآخر وتخرج الصورة الطيفية التي تمثل الصائت القصير [ə] الذي يطلق عليه [شوا] ويشبه صويت القلقلة في تلاوة القرآن الكريم.

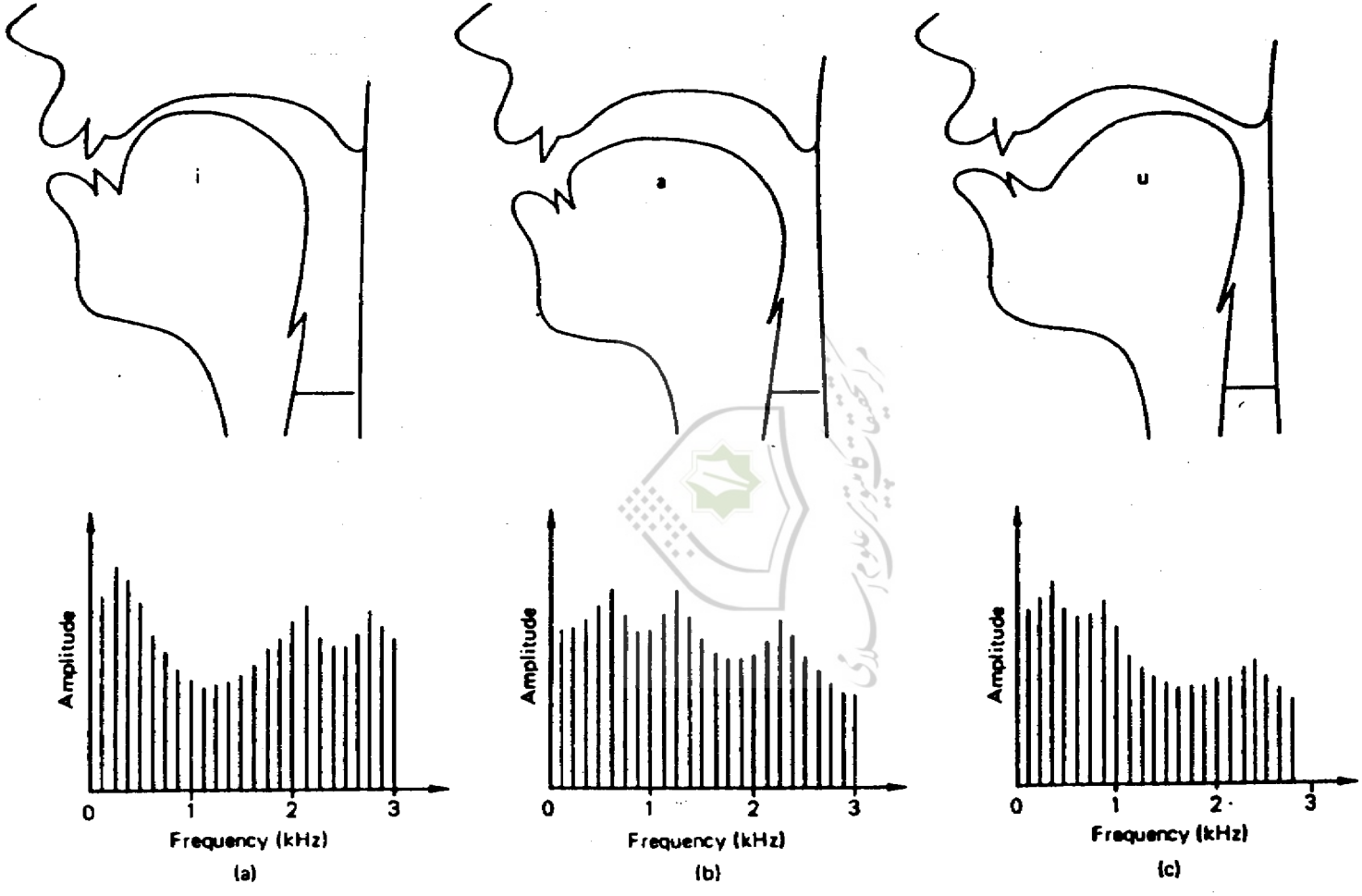
(شكل ٤)


ACOUSTIC SPECTRUM
i
التجويف الأنفي
اللسان
الأسنان
الشفتان
مؤخر الفم
الحلق
الفم
FIRST FORMANT = 300 HERTZ
SECOND FORMANT = 2,300 HERTZ
FILTER RATIO (DECIBELS)
FREQUENCY (HERTZ)
a
الشفتان
مؤخر الفم
الحلق
الفم
FIRST FORMANT = 750 HERTZ
SECOND FORMANT = 1,200 HERTZ
u
الشفتان
مؤخر الفم
الحلق
الفم
FIRST FORMANT = 350 HERTZ
SECOND FORMANT = 800 HERTZ

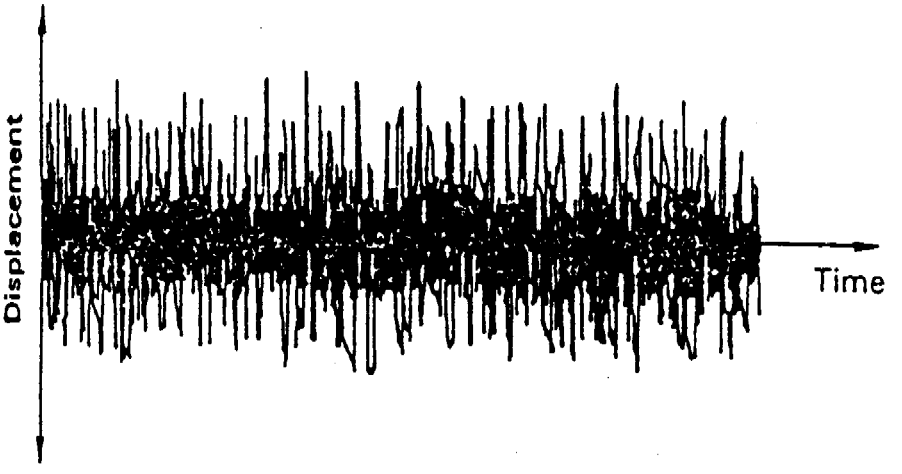
(شکل ۵)


Acoustic tube
Effective length 17.6 cm
Vocal folds
(a)
17.6 cm (effective length)
(b)
Particle velocity
Pressure

(شکل ٦)

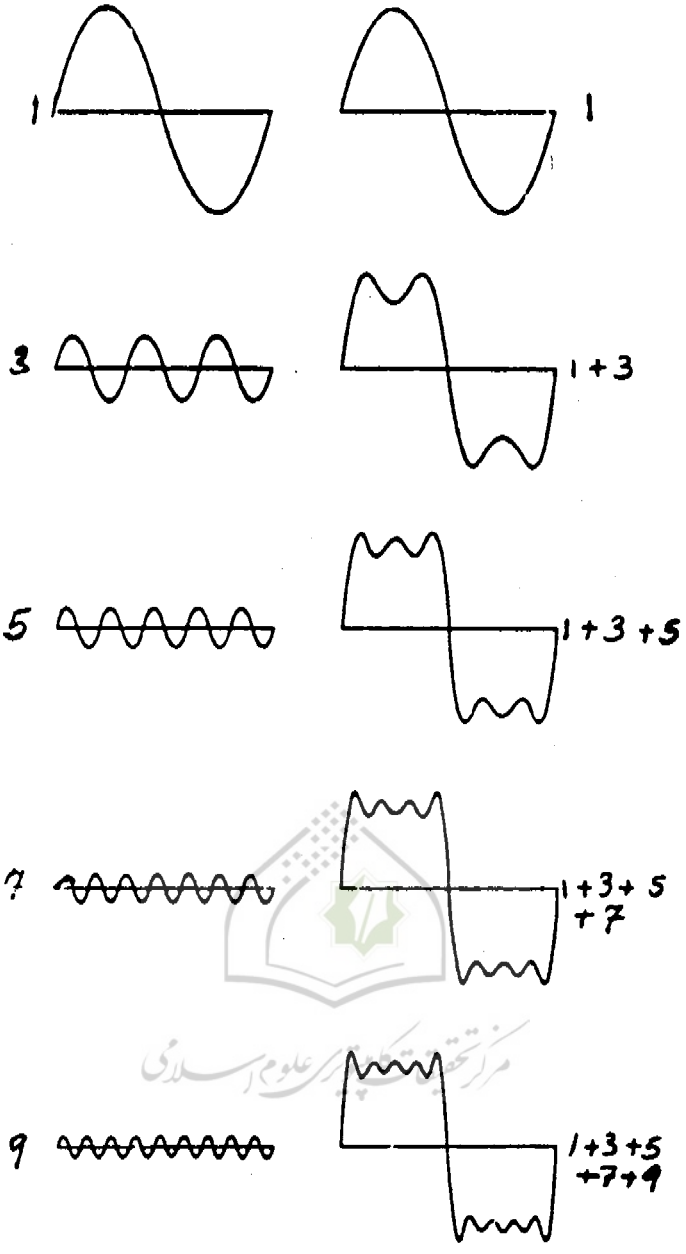

i
a
u
Amplitude
0
1
2
3
Frequency (kHz)
(a)
Amplitude
0
1
2
3
Frequency (kHz)
(b)
Amplitude
0
1
2
3
Frequency (kHz)
(c)

(شکل ۷)



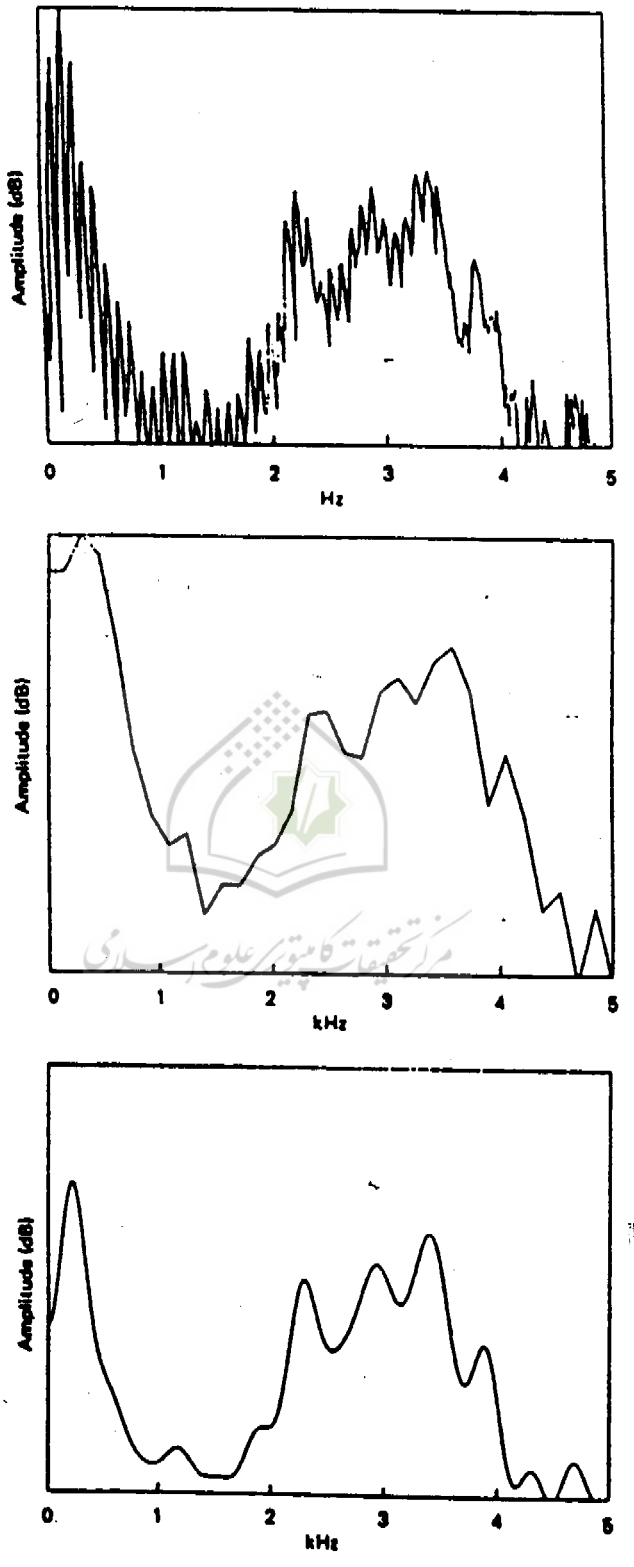
(شکل ۸)

مرکز تحقیقات کامپیوتری علوم اسلامی

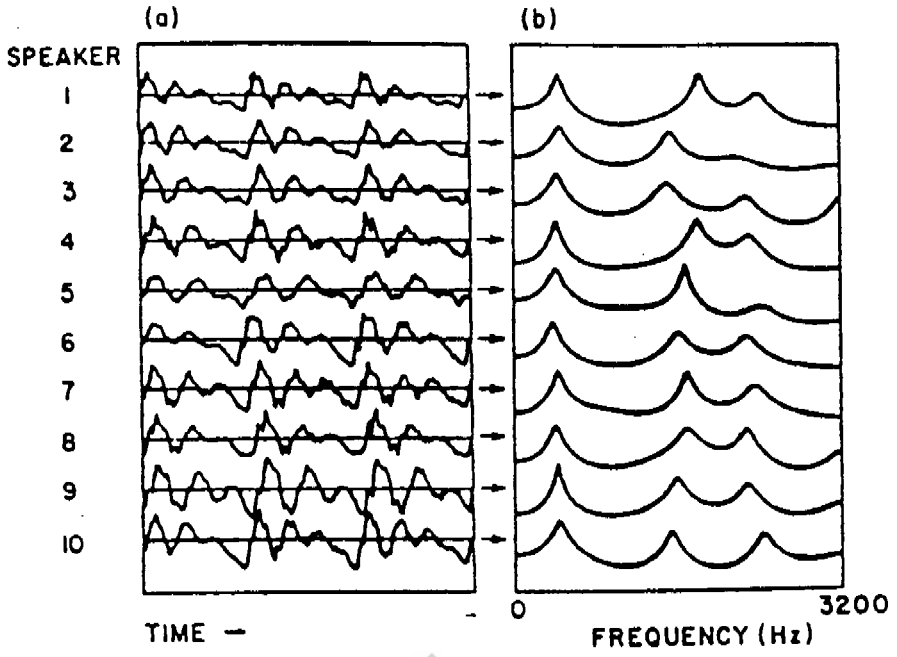


يبيّن تحليل فوريير أن الموجات الدورية المركبة هي حاصل جمع مجموعة من الموجات الجيبية. ويوضح هذا الشكل الموجات الجيبية على اليسار ومجموع تسلسلها على اليمين في موجات مركبة مع مراعاة التردد والسعة. وهذا دليل على أن الموجة الصوتية الكلامية هي مجموع التردد الأساس والترددات العليا التوافقية.

(شكل ٩)


Amplitude (dB)
0
1
2
3
4
5
Hz
Amplitude (dB)
0
1
2
3
4
5
kHz
Amplitude (dB)
0
1
2
3
4
5
kHz

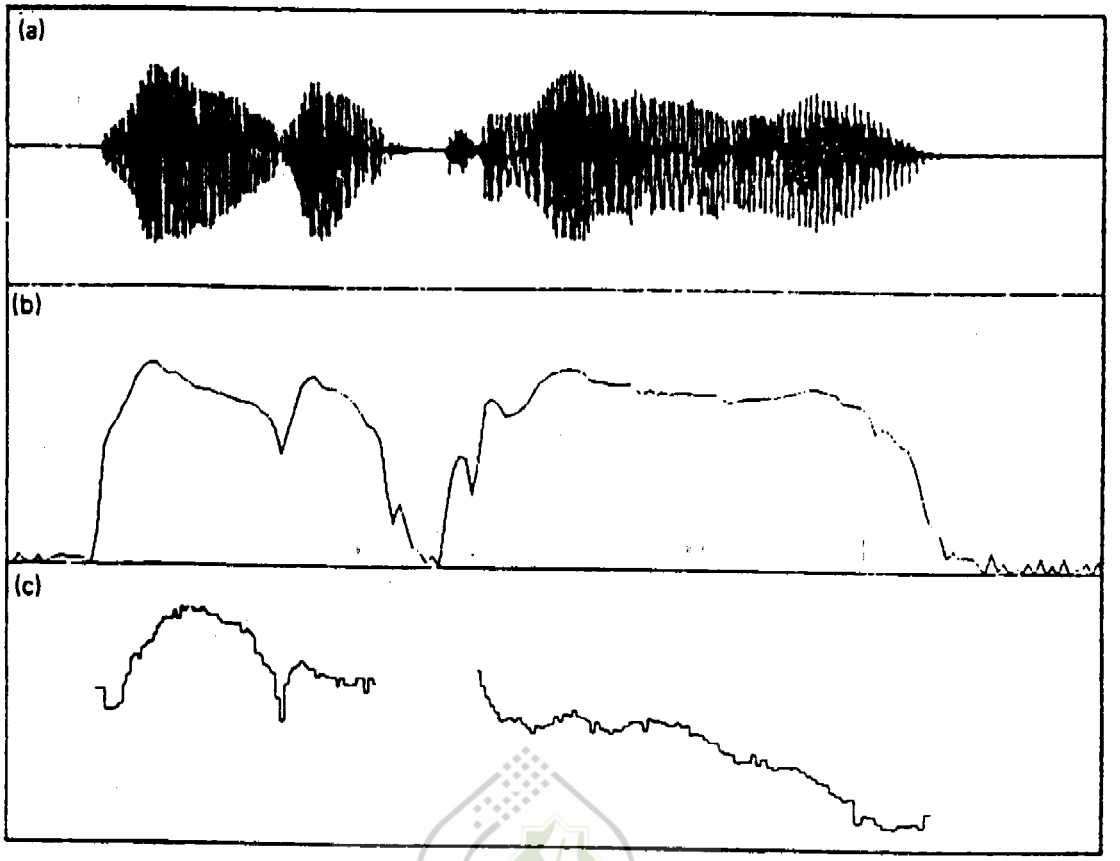
(شکل ۱۰)

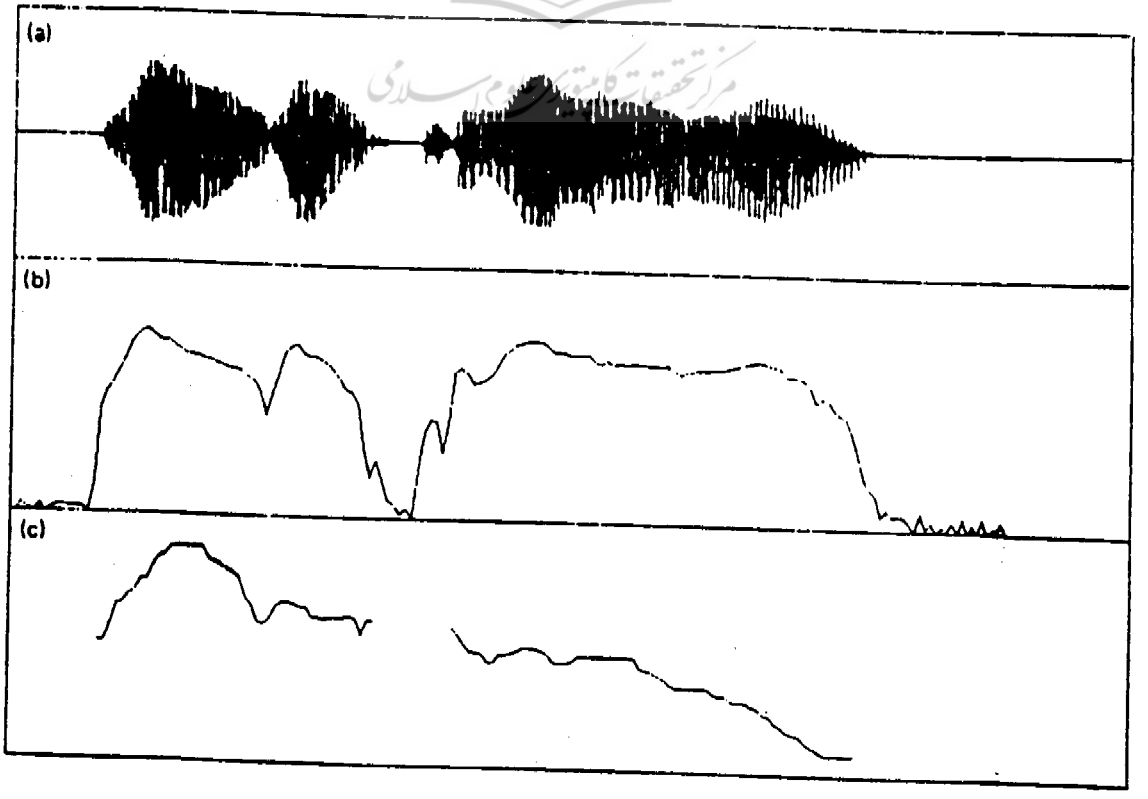


(a) Three pitch periods of the acoustic wave of the vowel /ɪ/ from ten male speakers; (b) corresponding smoothed frequency spectra.

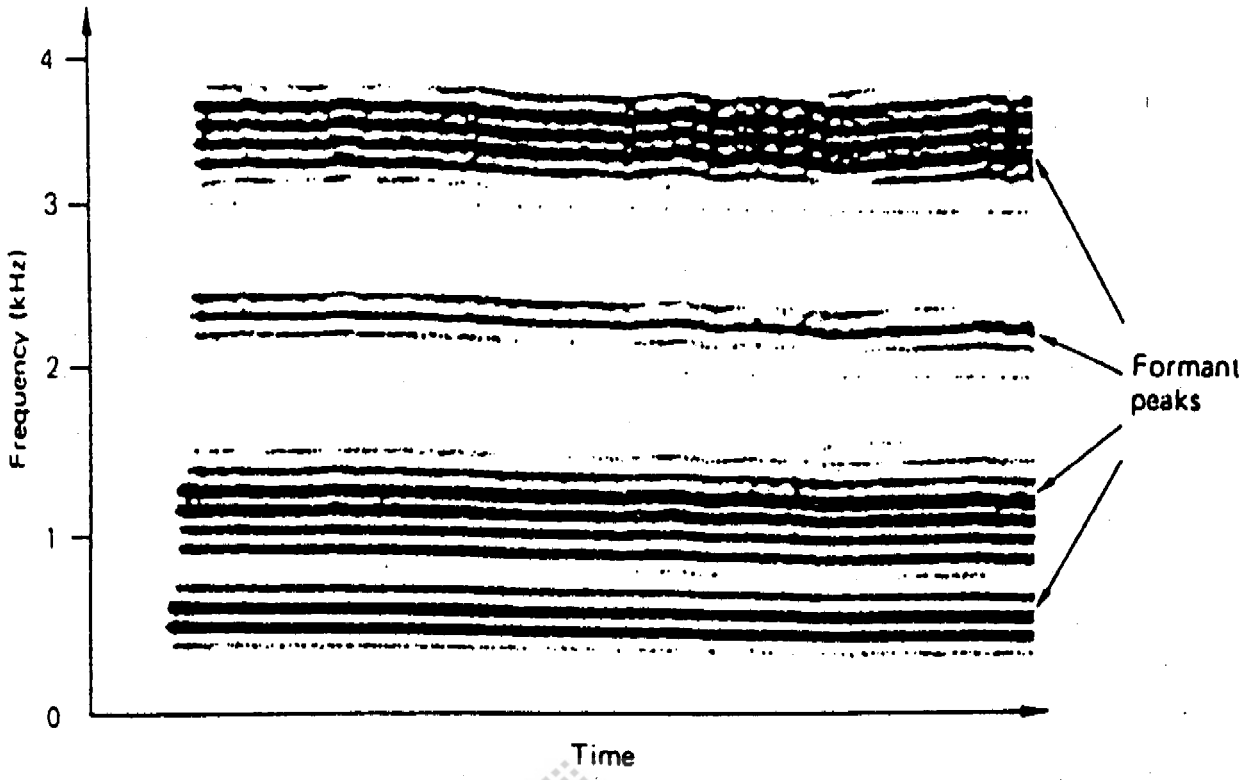
مرکز تحقیقات کامپیوتری علوم اسلامی

(شکل ۱۱)



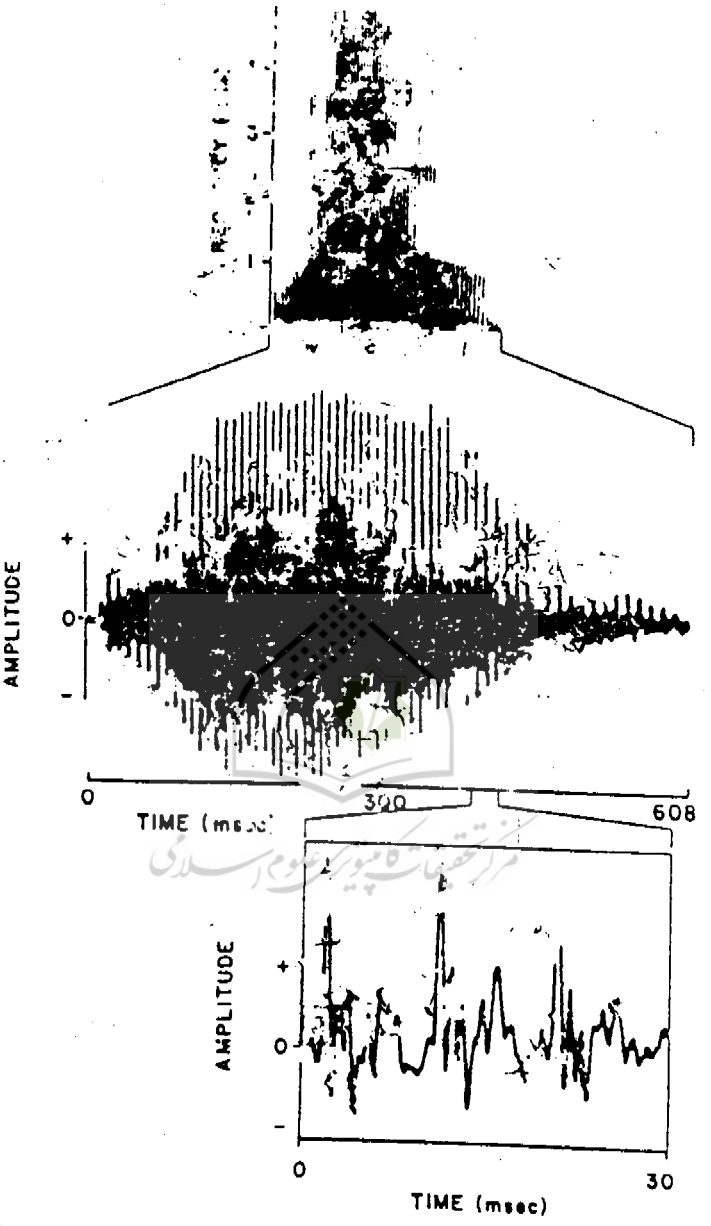


(شکل ۱۲)



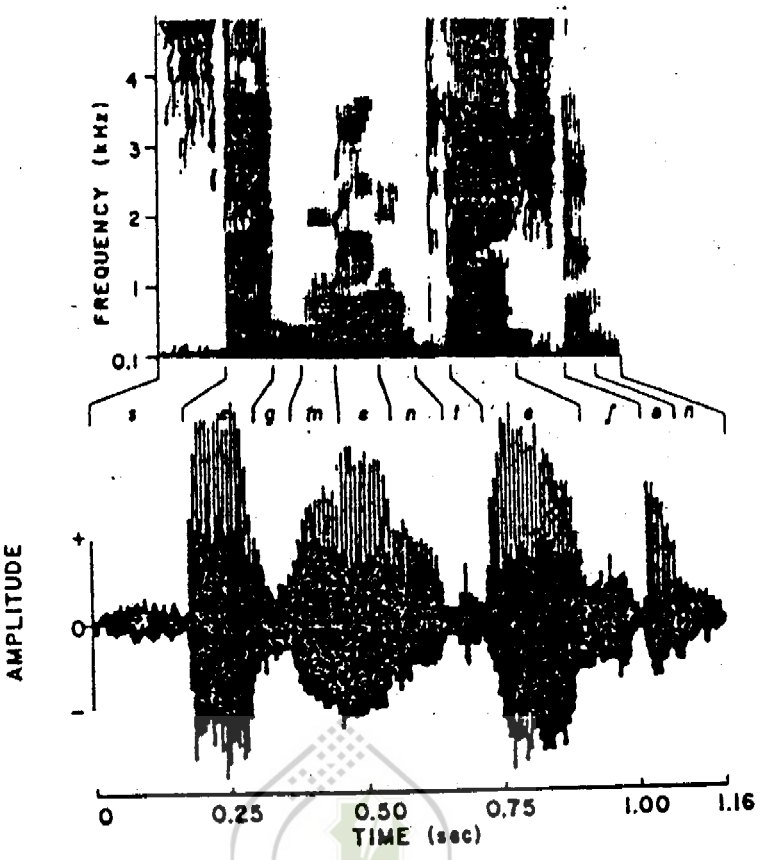
(شکل ۱۳)

مرکز تحقیقات کامپیوتری علوم اسلامی



Broad-band spectrogram of the CVC sequence /wɛl/ and the corresponding acoustic wave plot. Segment boundaries become more ambiguous when all three sounds have similar properties.

(شکل ۱٤)

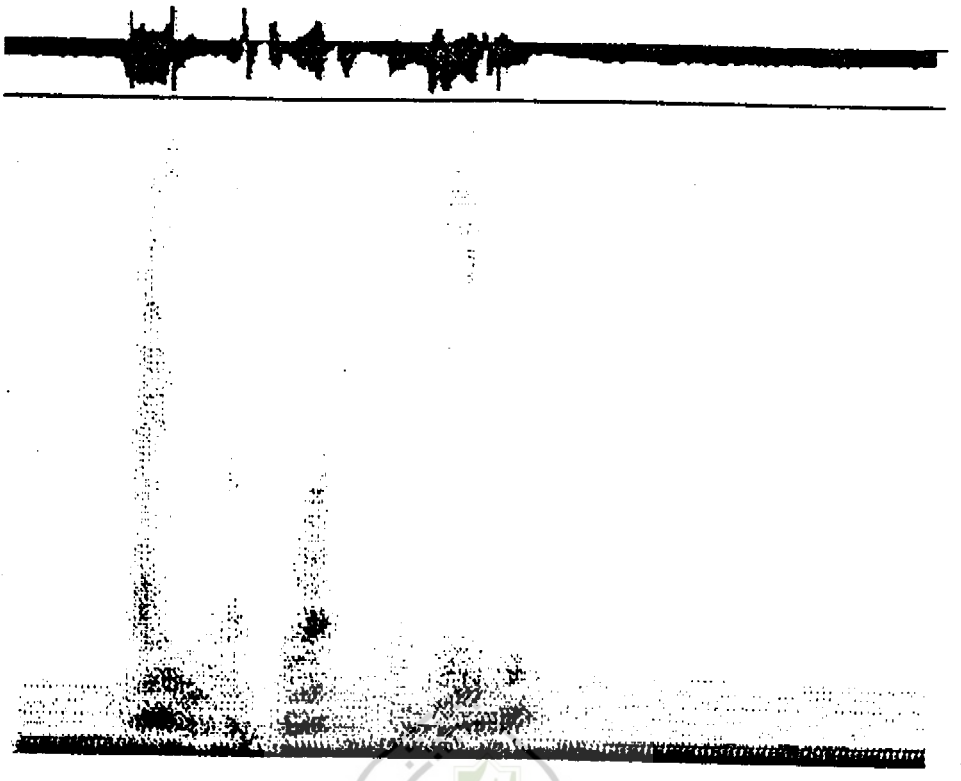


The individual sound units of the word *segmentation* are visible on both a spectral representation and a display of the acoustic wave. Boundary points between sounds are not necessarily absolute.

مرکز تحقیقات کامپیوتری علوم اسلامی

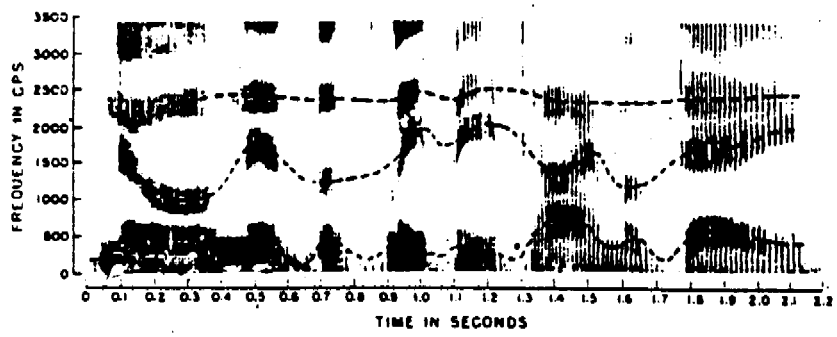
(شکل ۱۵)

صورة طيفية من Gram



للمنطوق التقريرى « علم الأصوات التجريبى » وهذا النوع من الصور الطيفية لا يفرق بدقة بين التقرير والاستفهام

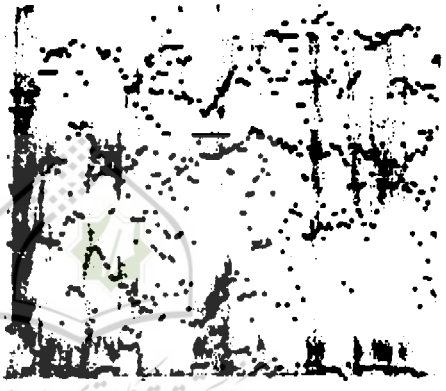
(شكل ١٦)

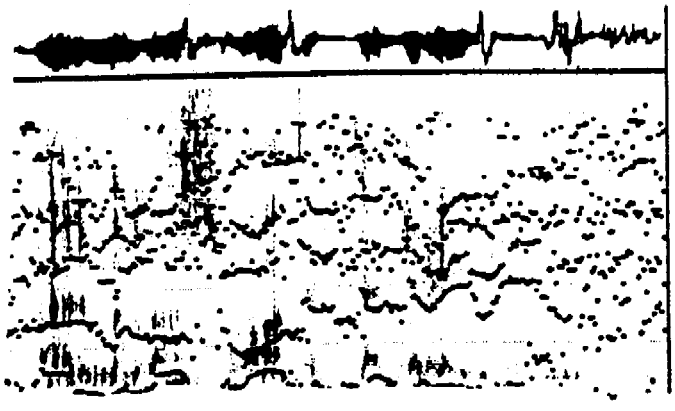


(أ) صورة طيفية يعلوها خطوط التنبؤ الخطي مبسّطة جدا من كتاب

(Flanagan)

(ب) (١)





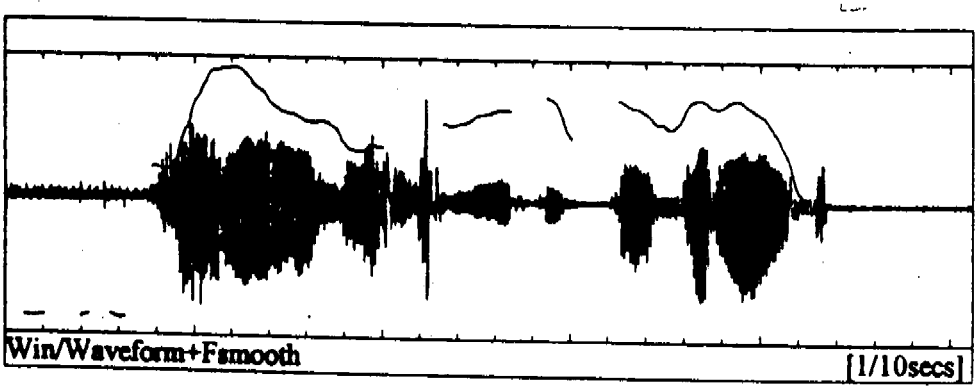
(٢) صورتان طيفيتان رماديتان تعلوهما خطوط التنبؤ الخطي المعقدة من برنامج PCQuirer ، (ب١) = تقرير و(ب٢) = استفهام

للمنطوق «علم الأصوات التجريبي»

(شكل ١٧)

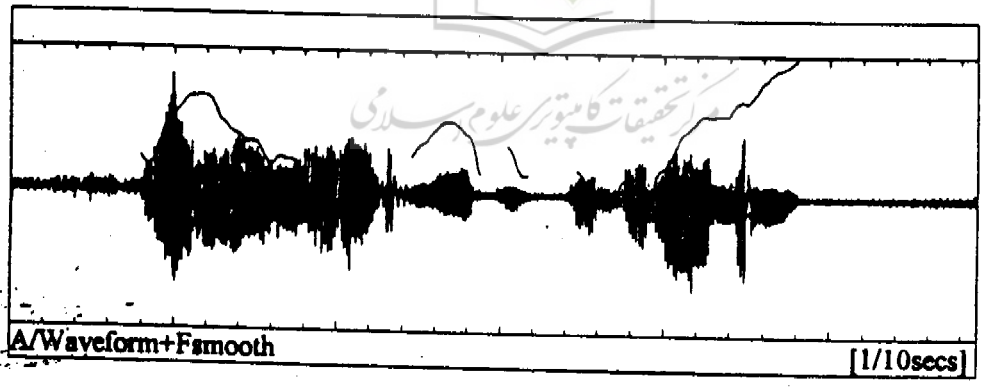
مرکز تحقیقات کامپیوتری علوم اسلامی
کتابخانه و مرکز اطلاع رسانی
بنیاد دایرة المعارف اسلامی

Win
Title:
Length: 56416 bytes / 2.559secs Sampling frequency: 22050Hz
Date digitized: 1 July 1999 (+f) Source: win.bmp
Calculation parameters: Calc range: 40-500Hz Voicing threshold: 20
Percent change: 10 Group size: 6



(أ)

Title:
Length: 65000 bytes / 2.948secs Sampling frequency: 22050Hz
Date digitized: 1 July 1999 (+f) Source:
Calculation parameters: Calc range: 40-500Hz Voicing threshold: 20
Percent change: 10 Group size: 6

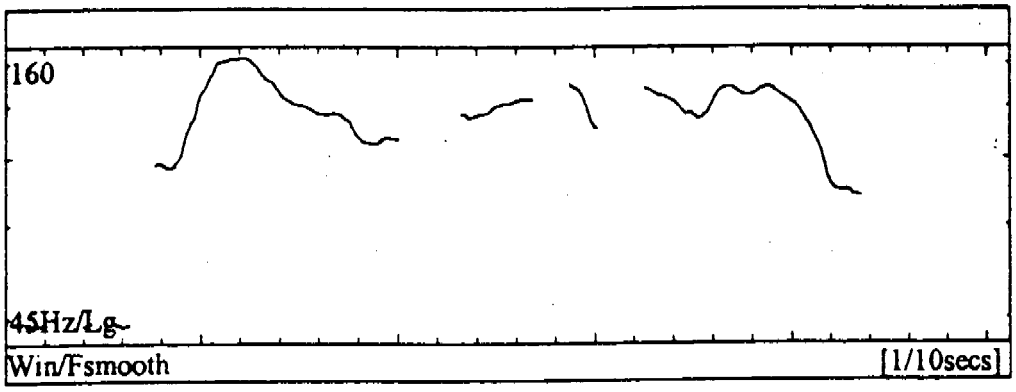


(ب)

بيان التحليل الموجى يعلوه خط التنغيم الهابط فى (أ) وخط التنغيم الصاعد فى (ب) للمنطوق : « علم الأصوات التجريبى » .

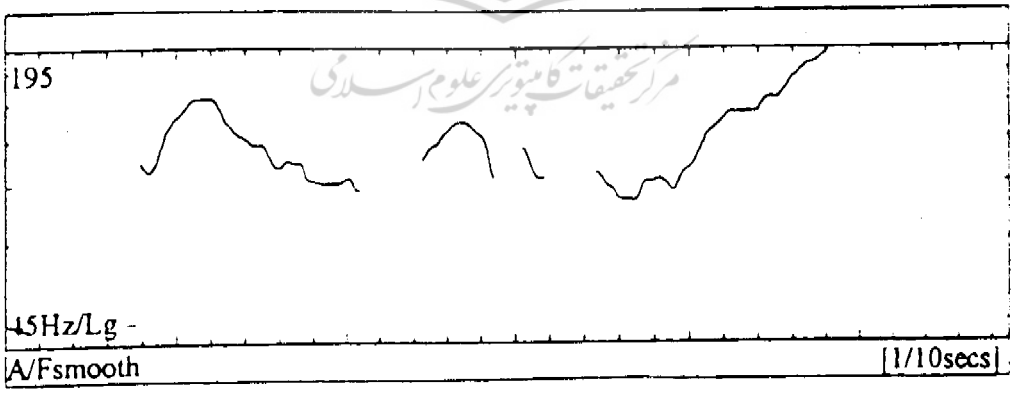
(شكل ١٨)

Win
Title:
Length: 56416 bytes / 2.559secs Sampling frequency: 22050Hz
Date digitized: 1 July 1999 (+f) Source: win.utt
Calculation parameters: Calc range: 40-500Hz Voicing threshold: 20
Percent change: 10 Group size: 6



(أ)

Title:
Length: 65000 bytes / 2.948secs Sampling frequency: 22050Hz
Date digitized: 1 July 1999 (+f) Source:
Calculation parameters: Calc range: 40-500Hz Voicing threshold: 20
Percent change: 10 Group size: 6



(ب)

بيان خط التنغيم (الكنتور) : تقرير في (أ) ، استفهاما في (ب)

(علم الأصوات التجريبي)

(شكل ١٩)

REFRENCES:

1- Clark, J. and Yallop, C. (1995): An Introduction to Phonetics and Phonology, Blackwell Oxford UK & Cambridge USA .

2- Flanagan, J.L., (1972) Speech Analysis, Syntesis and Perception, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

3- Fujimura, O.& Erickon, D. (1997): Acoustic Phonetics, In Hardcastle & Laver (eds.)

4 - Hardcastle, W.J. & Laver, J.(eds.) (1997): The Handbook of Phonetic Sciences, Backwell Publishers Oxord UK & Cambridge USA.

5 - Heath, O.V.S. (1970): Investigation by Experiment, ELBS and Edward Arnold Ltd., Great Britain.

6 - Holmes, J.N. (1988): Speech Synthesis and Recognition, Van Nostrand Reinhold (UK).

7 - Lass, Norman J. (1976): Current issues in Experimental Phonetics, Academic Press New York.

8 - Lindblom, Björn (1973): På väg till laboratoriet, CWK Geerup Bokförlag/Lund.

9 - Miller, G.A. (1981): Language and Speech, W.H. Freeman and Company San Francisco.

10 - Painter, Colin (1979): An Introduction to Instrumental Phonetics, University Park Press Baltimore.

مرکز تحقیقات کامپیوتری علوم اسلامی

11 - Rabiner, L.R. & Schafer, R.W. (1978): Digital Processing of Speech Signals, Prentice Hall Inc., Engle wood Cliffs New Jersy.

12 - Robinson, tony (1998): SPEECH ANALYSIS (Internet).

13 - Wakita, H. (1976): Instrumentation for the Study of Speech Acoustics. In Lass, N.J. (ed.)

14 - Wright, R., Frisch, S. and Pisoni, D. (1997): Research on Spoken Language Processing Progress Report No.21 Indiana University.

مرکز تحقیقات کامپیوتری علوم اسلامی