

استفاده از الگوی طیف‌نگاشتی واکه‌ها به‌عنوان کلیدی برای بازشناسی حقوقی سخنگو^۱

مجتبی نامور فرگی^{۱*}، شهلا شریفی^۲، محمدرضا پهلوان‌نژاد^۳،
اعظم استاجی^۴، مهدی مشکوة‌الدینی^۵

۱. فارغ‌التحصیل دکتری زبان‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲. دانشیار زبان‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳. دانشیار زبان‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۴. دانشیار زبان‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۵. استاد زبان‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

پذیرش: ۹۱/۱۲/۲۲

دریافت: ۹۱/۱۰/۲۸

چکیده

آواشناسی حقوقی، از زیرگرایش‌های زبان‌شناسی حقوقی است که در آن از دانش اکوستیک و کاربرد ویژگی‌های آواشناختی داده‌های صوتی، برای تکمیل مدارک پرونده‌های حقوقی استفاده می‌کنند و یکی از شواهد موجود در آن‌ها مربوط به داده‌های صوتی فرد مجرم است. از مهم‌ترین اموری که آواشناسان حقوقی انجام می‌دهند، بازشناسی حقوقی سخنگو است. در «بازشناسی حقوقی سخنگو»، از آواشناس خواسته می‌شود تا میزان مشابهت میان داده صوتی از پیش موجود مربوط به صدای مجرم را با صدای فرد یا افراد مظنون تعیین و مشخص کند که آیا صدای فرد مظنون با صدای مجرم که در حین ارتکاب جرم ضبط شده، هم‌خوانی دارد یا خیر؟ هدف از این پژوهش که روی داده‌های صوتی مربوط به ۱۰ سخنگوی مرد و زن فارسی‌زبان دارای گویش فارسی معیار انجام گرفت، بررسی امکان استفاده از نمودارهای طیف‌نگاشتی لگاریتمی واکه‌ها، به‌عنوان یکی از کلیدهای بازشناسی حقوقی سخنگو است. نتایج بررسی‌های انجام‌گرفته در این پژوهش نشان می‌دهد که این مشخصه می‌تواند به‌عنوان یکی از کلیدهای کارآمد با درصد اطمینان بالا در فعالیت‌های مربوط به بازشناسی حقوقی سخنگو، کاربرد داشته باشد.

واژگان کلیدی: زبان‌شناسی حقوقی، آواشناسی حقوقی، بازشناسی سخنگو، آواشناسی اکوستیک، الگوی طیف‌نگاشتی واکه‌ها.

۱. مقدمه

از آنجا که زبان‌شناسی به توصیف و بررسی مهم‌ترین ویژگی انسان، یعنی زبان می‌پردازد، به تدریج راه خود را به درون علوم دیگر باز می‌کند و به همه حوزه‌های زندگی انسان راه می‌یابد، زیرا هیچ‌یک از حوزه‌های زندگی بشر را نمی‌توان نامرتبط به زبان دانست. برخی از حوزه‌های زبان‌شناسی، آن‌چنان به صورت میان‌رشته‌ای با علوم دیگر درهم آمیخته شده‌اند که به سختی می‌توان آن‌ها را از یکدیگر باز شناخت و مرز مشخص و دقیقی بین حوزه پژوهشی هریک در نظر گرفت.

این حوزه‌ها که اغلب زیرمجموعه عنوان «زبان‌شناسی کاربردی» قرار می‌گیرند، در هر کجا که علمی وابسته یا مرتبط به کاربرد یا ویژگی‌های زبان است، حضور می‌یابند و بر گستره مفاهیم زبان‌شناسی می‌افزایند. از میان آن‌ها می‌توان به عصب‌شناسی زبان، روان‌شناسی زبان، زبان‌شناسی رایانشی^۱، زبان‌شناسی اجتماعی، زبان‌شناسی حقوقی و آواشناسی حقوقی اشاره کرد که دو مورد آخر موضوع کار این پژوهش قرار گرفته است. آنچه که در تمامی این زیرگرایش‌ها یا رشته‌های مرتبط با زبان‌شناسی مشترک است، تأکید بر جنبه زبان‌شناختی موضوع مورد بحث است و این همان مرز تقریبی است که می‌توان بین زبان‌شناسی و سایر علوم در نظر گرفت.

۱-۱. آواشناسی حقوقی^۲

در زبان‌شناسی حقوقی، به مباحثی مانند زبان حقوقی (Tiersma, 1999)، معناشناسی حقوقی (Langford, 2000: 72-94)، گفتمان حقوقی (Bavelas, & Gibson, 1994: 189-206)، شهادت دروغ (Harris, 2001: 53-74) و آواشناسی حقوقی (آقاگل‌زاده، ۱۳۹۱) پرداخته می‌شود. در آواشناسی حقوقی که زیرگرایش زبان‌شناسی حقوقی به‌شمار می‌آید، به مسائلی از قبیل بازشناسی گفتار^۳، بازشناسی سخنگو^۴، تشخیص هویت سخنگو^۵ و تأیید سخنگو^۶ و نیز تعیین صحت یا کذب تماس‌های تلفنی پرداخته می‌شود (Hollein, 1990: 190-191). در برخی مقاله‌ها برای واژه forensic در عبارت‌های forensic linguistics و forensic Phonetics، از معادل «قانونی» استفاده شده است (استاجی، ۱۳۸۵) که آقاگل‌زاده با بحث

مفصلی در باب تداعی‌های معنایی و گستره مفاهیمی که این واژه دارد، معادل زبان‌شناسی حقوقی و آواشناسی حقوقی را برای این عبارت‌ها برتر می‌شمارد (آقاگل‌زاده، ۱۳۹۱). در این پژوهش نیز با پذیرش این معادل‌ها، از اصطلاح آواشناسی حقوقی و زبان‌شناسی حقوقی بهره گرفته‌ایم.

در آواشناسی حقوقی می‌کوشند تا ارتباط احتمالی میان صدای ضبط‌شده فرد مجرم در حین ارتکاب به جرم را با صدای فرد یا افراد مظنون، بررسی و مشخص کنند که چه میزان احتمال یکسانی این دو صدا با یکدیگر وجود دارد که این مورد می‌تواند در دادگاه یا هیئت منصفه در محکومیت و یا تبرئه مظنون نقش مهمی داشته باشد. همچنین مسائل پیچیده‌تری از قبیل اینکه سخنگو در حین ارتکاب به جرم دارای استرس و اضطراب بوده یا خیر و نیز برخی از حالات روانی و احساسی او می‌تواند تا حدود زیادی از داده‌های صوتی صدای ضبط‌شده وی استخراج شود.

هرچند که این حوزه در کشور ما هنوز به‌طور رسمی به دادگاه‌ها و مجامع حقوقی راه نیافته است، اما در دادگاه‌های اروپا و ایالات متحده از دهه ۱۹۸۰ به بعد، به‌عنوان یکی از شواهد حقوقی و معتبر به‌کار گرفته می‌شود (استاجی، ۱۳۸۵).

در این مقاله، به دنبال یافتن پاسخ این سؤال هستیم که آیا امکان استفاده از الگوهای طیف‌نگاشتی لگاریتمی واکه‌ها به‌عنوان یکی از کلیدهای بازشناسی حقوقی سخنگو، وجود دارد؟ و اینکه آیا می‌توان شیوه‌ای برای کمی‌سازی برابری الگوهای طیف‌نگاشتی واکه‌ها، ارائه کرد که بر دقت و اعتبار استفاده از این ویژگی در بازشناسی حقوقی سخنگو بیفزاید؟ بدین منظور، داده‌های صوتی به‌دست‌آمده از مکالمات ضبط‌شده ۱۰ سخنگوی مرد و زن فارسی‌زبان به‌دقت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. چگونگی گردآوری این داده‌ها و روش تحقیق در بخش ۳ آمده است.

۲. پیشینه تحقیق

آواشناسی حقوقی، به مقایسه دو یا چند نمونه از داده‌های گفتاری برای تعیین میزان شباهت میان آن‌ها و احتمال اینکه توسط فرد واحدی گفته شده باشند یا خیر، می‌پردازد. فرایند بازشناسی سخنگو برای اهداف حقوقی، بر مبنای این فرضیه است که «تفاوت‌های صوتی بین سخنگویان متفاوت، بیش از تفاوت‌های صوتی بین گفته‌های متفاوت یک سخنگو است» (استاجی

و همکاران، ۱۳۸۹). بنابراین نمونه گفتاری از یک فرد مظنون (به‌عنوان مثال صدای ضبط‌شده وی هنگام بازپرسی توسط پلیس)، در صورتی‌که آن فرد واقعاً همان شخص مجرم باشد، شباهت زیادی با صدای از پیش موجود مجرم خواهد داشت. از سوی دیگر، اگر آن فرد مظنون، همان فرد مجرم نباشد، تفاوت‌های صوتی متمایزکننده بیشتری بین نمونه گفتاری او و نمونه از پیش موجود صدای مجرم (هنگام ارتکاب جرم) وجود خواهد داشت (Elliot, 2000). آواشناسان حقوقی معتقدند که می‌توان فرد را با استفاده از تحلیل مشخصه‌های خاصی که در صدایش موجود است، شناسایی کرد؛ البته این عقیده، ریشه در آرای قدیمی‌تری دارد که آن را به الکساندر ملویل بل، پدر الکساندر گراهام بل نسبت می‌دهند (Ramsland, 2005: 25). به هر حال، پذیرش این فرضیه بوده که آواشناسی حقوقی را از پنج دهه پیش تاکنون به‌صورت رشته‌ای پویا نگاه داشته و روز به روز نیز بر پیشرفت‌ها و دستاوردهای آن افزوده می‌شود.^۹

۲-۱. بازشناسی حقوقی سخنگو^۹

شمار موارد حقوقی که در آن‌ها دادگاه‌ها نیاز به بازشناسی سخنگو از صداهای ضبط‌شده دارند، رو به افزایش است. در این موارد از آواشناس می‌خواهند تا یک بازشناسی حقوقی سخنگو انجام دهد. به عبارت دیگر، از او می‌خواهند تا صدایی را که در هنگام وقوع جرم از مجرم ضبط شده با صدای مظنون مقایسه کند تا بدین ترتیب به تأیید جرم و یا رد ظن از مظنون کمک کند (Nolan et al, 2006).

عمل بازشناسی سخنگو، تحت‌تأثیر تنوعات متعددی قرار می‌گیرد؛ به‌ویژه، سخنگویان که تحت‌تأثیر شرایطی مانند میزان آشنایشان با مخاطب، حالات احساسی، میزان رسمیت موقعیت، میزان نوفه زمینه‌ای و... صدایشان را تغییر می‌دهند (Nolan, 1997: 748). همچنین صدای افراد در اثر تغییر حالت سلامتی آن‌ها تغییر می‌کند و دیگر اینکه سخنگو ممکن است به‌عمد صدای خود را تغییر دهد یا صدای فرد دیگری را تقلید کند (Nolan et al, 2006).

در بازشناسی حقوقی سخنگو، باید به متغیرهای چندگانه‌ای توجه شود. به‌عنوان مثال، هالین (1990) بیان می‌کند که این متغیرها می‌توانند شامل موارد زیر باشند:
غیرهمزمان بودن ضبط‌های انجام گرفته، تغییرات صوتی به‌دلیل سیستم ضبط صوت

به‌کارگرفته‌شده و تنوعاتی که در گفتار یک فرد به‌دلایل متعدد مانند تغییر حالات احساسی یا سلامتی و حتی تغییر عمدی صدا (تقلید صدا) شکل می‌گیرند (Hollien, 1990: 190-191).

نولان (1983) الگویی را برای عوامل متعدد که بر تنوعات صوتی یک سخنگو تأثیر می‌گذارند، ارائه می‌دهد. این عوامل، مواردی از قبیل مکانیسم‌های زبانی و غیرزبانی، نیات ارتباطی و همچنین دیگر عواملی که یک سخنگو به‌طور غیرعمدی با گفتارش آن‌ها را بیان می‌کند، مانند جنسیت، پس‌زمینه اجتماعی^{۱۰} و حالات روان‌شناختی را شامل می‌شود (Nolan, 1983).

کینوشیتا (1998)، به بررسی چگونگی تأثیر ویژگی‌های سبکی در مشخصه‌های صوتی سخنگویان ژاپنی از منظر آواشناسی حقوقی می‌پردازد (Kinoshita, 1998).

در اوایل دهه شصت، دانشمندان تلاش کردند تا از دستگاه‌های طیف‌نگار گفتاری^{۱۱} به‌عنوان ابزاری برای بازشناسی سخنگو استفاده کنند (Kersta, 1962; Bolt et al, 1969; Stevens et al, 1968; Over et al, 1972).

محدود بود. در این زمان، فناوری رایانه هنوز آنچنان پیشرفته نبود که بتواند در این زمینه به متخصصان این امر کمک کند. پیشرفت‌های به‌وجود آمده در فناوری رایانه پس از دهه ۱۹۶۰، موج جدیدی از تحقیقات در زمینه بازشناسی سخنگو را رقم زد. با اینکه این تحقیقات، باعث پیشرفت‌هایی در سیستم‌های بازشناسی سخنگوی وابسته به متن شدند، اما در زمینه بازشناسی سخنگوی مستقل از متن که با تنوعات کانال و سخنگو همراه بودند، هنوز هم کمبودهای چشمگیری وجود داشت و این بررسی‌ها آنچنان که باید و شاید موفقیت‌آمیز نبودند (Rodman, 1997).

با وجود پیشرفت‌های بسیار زیاد در سیستم‌های نوین بازشناسی سخنگو، باز هم ایرادهایی وجود دارد که کار بازشناسی را با تأخیر همراه می‌کند یا از دقت و کارایی آن می‌کاهد؛ به‌گونه‌ای که دقت بازشناسی، به‌طور معکوس با تغییرات محیط، تغییرپذیری سخنگو و درون‌داد زبان طبیعی تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد (Herbig & Minker, 2011).

۳. شیوه گردآوری داده‌ها

داده‌های این پژوهش، شامل ۱۰۰ دقیقه مکالمه و گفتار ۱۰ تن سخنگوی زبان فارسی بود که ۵ تن از



آنان مذکر و ۵ تن مونث و در گروه سنی بین ۲۰ تا ۳۵ سال بودند. صدای این افراد در استودیو ضبط صدای سروش‌سیما، وابسته به صدا و سیمای مرکز خراسان رضوی، در اتاق آکوستیک مخصوص و با دستگاه‌های حرفه‌ای ضبط صدا، به صورت Stereo و با Sample rate 44100 و Bit Debth 16 ضبط شد که محیط نرم‌افزاری ضبط صدا Adobe Audition بود.

افرادی که صدای آن‌ها بررسی شده است، به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند و تنها سه ویژگی در انتخاب ایشان دخالت داشته است؛ یکی اینکه در گروه سنی ۲۰ تا ۳۵ سال باشند که مطمئن باشیم صدای آن‌ها با صدای کودکان و نوجوانان و همچنین با صدای کهنسالان متفاوت است؛ دیگر اینکه از این تعداد، ۵ سخنگو مذکر و ۵ سخنگو مونث باشند و ویژگی سوم این بود که این افراد دارای گویش معیار یا نزدیک به معیار زبان فارسی باشند. همه صداهای در یک نوبت ضبط شدند و از هر یک از سخنگویان خواسته شد تا متن از پیش تعیین شده‌ای را با لحن معمولی گفتار عادی و روزمره بخوانند.

این متن عبارت بود از: واژه‌های زبان فارسی به صورت جداگانه؛ واژه‌های تک‌هجایی دارای یک هم‌خوان و یک واکه برای همه هم‌خوان‌ها و واژه‌های زبان فارسی؛ ۱۴۰ کلمه که هر کلمه حداقل دو بار به شیوه تصادفی تکرار شده بود و ۳۴ جمله به صورت مکالمه‌ای که همه کلمه‌های مجزای متن به همراه کلمه‌های دیگر در آن موجود بود.

واژگان مورد استفاده در این پژوهش را براساس جدولی که شماره (۱۳۸۱) برای واج‌گونه‌های واج‌های زبان فارسی ارائه داده بود، انتخاب کردیم و کوشیدیم تا تمام بافت‌های متفاوتی که هم‌خوان‌ها و واژه‌های زبان فارسی ممکن است در آن‌ها به کار بروند، در این داده‌ها بگنجانیم.

از سخنگویان درخواست کردیم تا بین تلفظ واژه‌ها، هجاها و واژه‌ها، حدود دو سوم ثانیه مکث کنند تا کار جداسازی داده‌های صوتی مربوط به این صداها، هجاها و واژه‌ها راحت‌تر صورت بپذیرد و مطمئن باشیم که داده‌ها با یکدیگر ترکیب نشده‌اند. در بخش مربوط به خواندن متون مکالمه‌ای از آن‌ها خواستیم تا این متن‌ها را مانند گفتار معمول بخوانند و پیش از ضبط صدا نیز در حدود یک ساعت متن را چندبار از رو خوانده بودند تا از عدم ایجاد اشکال در حین خواندن متن و همچنین از طبیعی بودن سرعت و شیوه گفتاری اطمینان حاصل کنیم.

یکی از موارد تحلیل‌های صوتی که روی این داده‌ها انجام گرفت و موضوع کار این مقاله

نیز است، الگوهای طیف‌نگاشتی لگاریتمی نشان‌دهنده قله‌های انرژی است. بدین منظور، از نرم‌افزار Sound Forge 10 Build 506 برای به‌دست آوردن الگوهای طیف‌نگاشتی لازم استفاده کردیم. این نرم‌افزار، برنامه حرفه‌ای و پیشرفته با کیفیت و وضوح بسیار بالا برای تحلیل‌های صوتی است. اما دلیل اصلی استفاده ما از این نرم‌افزار، در چگونگی نشان دادن نمودار طیف‌نگاشتی حاوی قله‌های انرژی بود که در تحلیل‌های حقوقی و بازشناسی سخنگو از آن‌ها استفاده کرده‌ایم.

در محیطی که برای این کار در نظر گرفتیم از صافی Hamming استفاده کردیم که از متداول‌ترین صافی‌ها برای بررسی‌های بازشناسی گفتار و بازشناسی سخنگو است. همچنین برای این کار، مدل لگاریتمی Fourier و صافی‌هایی با پهنای باریک را به‌کار بردیم. گستره بسامدی که برای این صافی‌ها در نظر گرفتیم بین ۱۰۰ هرتز تا ۸۰۰۰ هرتز بود. دلیل انتخاب این گستره بسامدی این بود که اساس کار ما در بررسی این نمودارها بر مبنای ویژگی‌های واکه‌ای بود و اولین ریزفرمانت واکه‌ای در مردان از حدود ۱۰۰ هرتز شروع می‌شود و آخرین انرژی‌های آکوستیکی مرتبط واکه‌ها در بسامد زیر ۸۰۰۰ هرتز دیده می‌شود. نمودارهای حاصل به‌صورت Filled Graph است.

۴. تجزیه و تحلیل داده‌ها

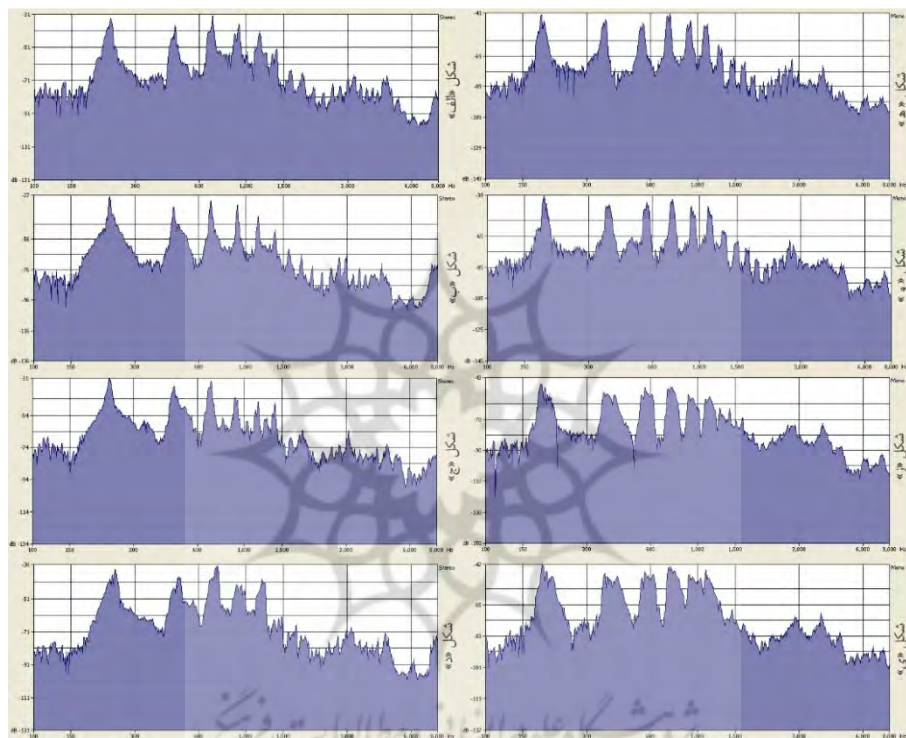
در بررسی‌های انجام گرفته بر روی ۶ واکه زبان فارسی که توسط ۱۰ سخنگوی مختلف انجام گرفت، تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای در نمودار طیف‌نگاشتی لگاریتمی تلفظ افراد مختلف برای واکه‌های یکسان دیده شد. پس از آن، هریک از واکه‌های تلفظ‌شده توسط هریک از سخنگویان، در ۵ واژه مختلف در جایگاه یکسان بررسی شدند و در مجموع ۳۰۰ نمودار مختلف به‌دست آمد و با یکدیگر مقایسه شد.

نتیجه قابل توجه بود؛ شباهت بسیار زیادی بین نمودار طیف‌نگاشتی لگاریتمی واکه‌های یکسان در تلفظ‌های مختلف یک سخنگو دیده می‌شد. این شباهت به‌حدی بود که از روی چند تصویر طیف‌نگاشتی به‌دست آمده، می‌توانستیم مشخص کنیم که آیا این نمودارها مربوط به تلفظ فرد واحدی هستند یا خیر.

در زیر، به‌عنوان نمونه، نمودارهای به‌دست آمده از واکه [a] و واکه [e] آورده شده که توسط



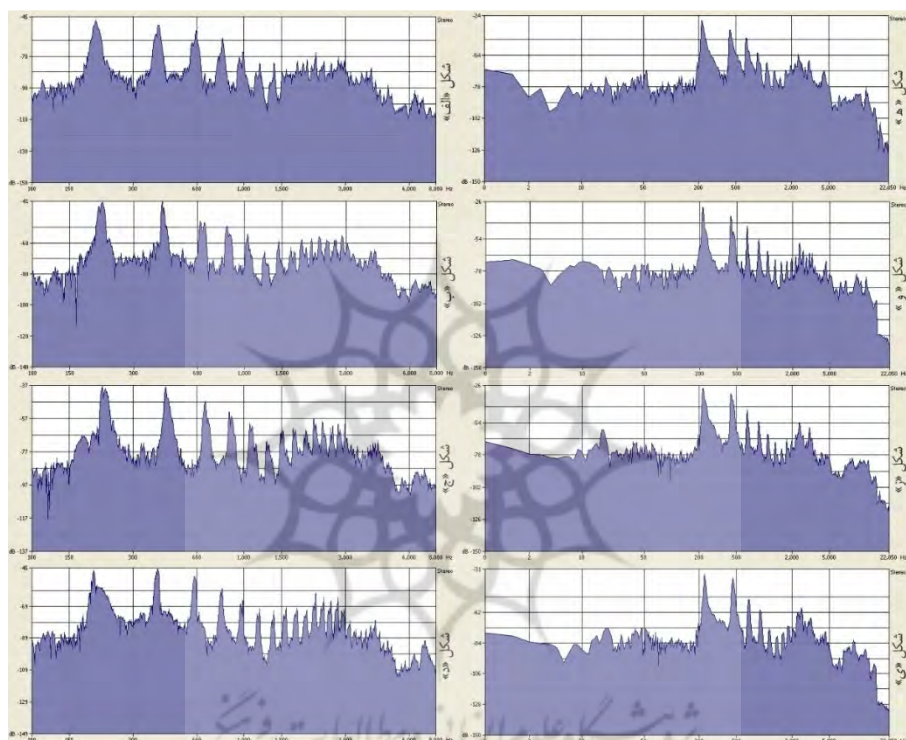
سخنگوی شماره ۶ و ۸ که هر دو زن هستند و در هجاهای [ga], [Ga], [da] و [ba] و [ge] و [Ge] تولید شده است. همین کار برای سخنگوی شماره ۲ و ۵ که هر دو مرد بوده‌اند، انجام گرفته و نمودارهای مربوط به آنها نیز در شکل‌های زیر آورده شده است.



شکل ۱ نمودارهای طیف‌نگاشتی واژه [a] سخنگوی شماره ۶ و ۸ در هجاهای مختلف

شکل الف. نمودار طیف‌نگاشتی لگاریتمی همخوان [G] در هجای [Ga] که توسط سخنگوی شماره ۶ تولید شده است.
 شکل ب. نمودار طیف‌نگاشتی لگاریتمی همخوان [g] در هجای [ga] که توسط سخنگوی شماره ۶ تولید شده است.
 شکل ج. نمودار طیف‌نگاشتی لگاریتمی همخوان [d] در هجای [da] که توسط سخنگوی شماره ۶ تولید شده است.
 شکل د. نمودار طیف‌نگاشتی لگاریتمی همخوان [b] در هجای [ba] که توسط سخنگوی شماره ۶ تولید شده است.
 شکل ه. نمودار طیف‌نگاشتی لگاریتمی همخوان [G] در هجای [Ga] که توسط سخنگوی شماره ۸ تولید شده است.
 شکل و. نمودار طیف‌نگاشتی لگاریتمی همخوان [g] در هجای [ga] که توسط سخنگوی شماره ۸ تولید شده است.
 شکل ز. نمودار طیف‌نگاشتی لگاریتمی همخوان [d] در هجای [da] که توسط سخنگوی شماره ۸ تولید شده است.
 شکل ی. نمودار طیف‌نگاشتی لگاریتمی همخوان [b] در هجای [ba] که توسط سخنگوی شماره ۸ تولید شده است.

همان‌طور که در نمودارهای شکل ۱ می‌بینیم، میزان شباهت بین واژه [a] در هجاهایی که توسط یک سخنگو تلفظ شده‌اند، غیرقابل انکار است. میزان اندک تفاوت را نیز می‌توان به دلیل تفاوت در همخوان‌های به‌کاررفته در این هجاها دانست.



شکل ۲ نمودارهای طیف‌نگاشتی واژه [e] سخنگوی شماره ۶ و ۸ در هجاهای مختلف

شکل الف. نمودار طیف‌نگاشتی لگاریتمی همخوان [G] در هجای [Ge] که توسط سخنگوی شماره ۶ تولید شده است.
 شکل ب. نمودار طیف‌نگاشتی لگاریتمی همخوان [g] در هجای [ge] که توسط سخنگوی شماره ۶ تولید شده است.
 شکل ج. نمودار طیف‌نگاشتی لگاریتمی همخوان [d] در هجای [de] که توسط سخنگوی شماره ۶ تولید شده است.
 شکل د. نمودار طیف‌نگاشتی لگاریتمی همخوان [b] در هجای [be] که توسط سخنگوی شماره ۶ تولید شده است.
 شکل ه. نمودار طیف‌نگاشتی لگاریتمی همخوان [G] در هجای [Ge] که توسط سخنگوی شماره ۸ تولید شده است.
 شکل و. نمودار طیف‌نگاشتی لگاریتمی همخوان [g] در هجای [ge] که توسط سخنگوی شماره ۸ تولید شده است.
 شکل ز. نمودار طیف‌نگاشتی لگاریتمی همخوان [d] در هجای [de] که توسط سخنگوی شماره ۸ تولید شده است.
 شکل ی. نمودار طیف‌نگاشتی لگاریتمی همخوان [b] در هجای [be] که توسط سخنگوی شماره ۸ تولید شده است.

براساس نمودارهای شکل ۲ می‌توان تصویر بسیار خوبی از میزان فرد- بسته بودن انرژی‌های طیف‌نگاشتی هر واکه در سخنگویان مختلف به‌دست آورد. با اینکه در این شکل، همه نمودارها مربوط به صدای دو سخنگوی زن است، اما نمودارهای سمت راست با یکدیگر و نمودارهای سمت چپ نیز با هم تشابه زیادی دارند و این بدان دلیل است که نمودارهای سمت راست از صدای یک فرد (سخنگوی شماره ۸) به‌دست آمده‌اند و نمودارهای سمت چپ از صدای فرد دیگری (سخنگوی شماره ۶) به‌دست آمده‌اند.

در بخش ۴-۲ شیوه‌ای برای کمی‌سازی میزان شباهت میان نمودارهای طیف‌نگاشتی لگاریتمی واکه‌ها به‌دست داده‌ایم که به‌وسیله آن می‌توان معیاری کمی و صوری برای برابریابی الگوهای طیف‌نگاشتی لگاریتمی ارائه کرد.

گفتنی است در پژوهش حاضر این مقایسه‌ها در سه جایگاه آغازین، میانی و پایانی، و در ترکیب و هم‌نشینی با ۲۳ هم‌خوان انجام گرفته که نتایج کمی آن‌ها را در بخش ۴-۲ آورده‌ایم و الگوها و شکل‌های ارائه شده در این مقاله، تنها نمونه‌ای از این داده‌ها است.

۴-۱. استفاده از الگوی طیف‌نگاشتی واکه‌ها به‌عنوان یکی از کلیدهای بازشناسی

حقوقی سخنگو

این کلید از مدت‌ها پیش به شیوه دیگری در روش‌های آماری و رایانه‌ای بازشناسی خودکار سخنگو کاربرد داشته است؛ چنانکه برای واژگان محدود و سخنگویان محدود، از توانایی بالای ۹۸ درصدی در بازشناسی برخوردار بوده است؛ اما در اینجا، به‌دلیل تأکید بیشتر بر جنبه‌های آوایی بازشناسی سخنگو از ورود به مباحث پیچیده ریاضیاتی و مهندسی و پرداختن به آن‌ها خودداری و تنها به توصیف مختصر آن‌ها جهت آشنایی کلی با اصول و شیوه‌های به‌کار رفته، بسنده می‌کنیم.

در این کلید پیشنهادی، الگوهای طیف‌نگاشتی لگاریتمی واکه‌ها در جایگاه‌های ثابت و هجاهای مشابه برای سخنگویان متفاوت به‌طور جداگانه به‌دست می‌آید. سپس این الگوها با یکدیگر مقایسه می‌شوند تا میزان شباهت میان آن‌ها مشخص شود و بدین ترتیب الگوهایی را که شباهت بسیار زیادی با یکدیگر دارند، می‌توان به سخنگوی واحدی نسبت داد.

برای این کار باید تنظیمات یکسانی در نرم‌افزار برای استخراج همه الگوها به‌کار گرفته

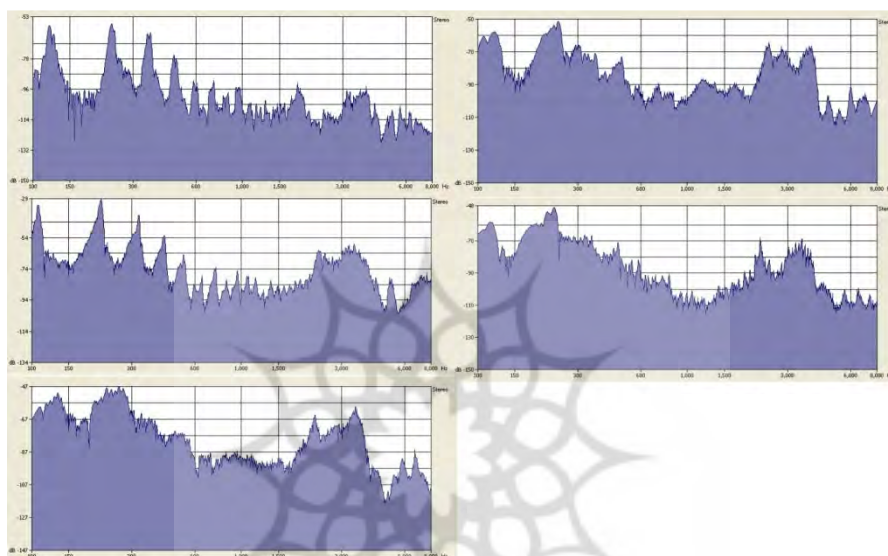
شود. تنظیمات به کار گرفته شده در این پژوهش که با استفاده از نرم افزار Sound Forge انجام پذیرفت، براساس ویژگی‌های کلی آواها و همچنین تنظیماتی که برای بررسی طیف‌نگاشتی صداها در پیشینه مطالعات موجود بود، در نظر گرفته شد.

برای اینکه بیان مشابهت میان الگوها از عینیت بیشتری برخوردار باشد، یک سلسله اندازه‌گیری‌های کمی را نیز روی الگوهای به دست آمده انجام دادیم. در این اندازه‌گیری‌ها، ابتدا مجموع قله‌های دارای برجستگی بیش از ۱۰db را در همه نمودارهای مورد مقایسه برای هر یک از شش واکه توسط هر یک از اعضای دو گروه پنج‌نفره سخنگو؛ سخنگویان گروه مرد (سخنگویان ۱ تا ۵) و سخنگویان گروه زن (سخنگویان ۶ تا ۱۰) تقسیم کردیم و الگوی مربوط به سخنگوی شماره ۱ را برای دسته اول و الگوی مربوط به سخنگوی شماره ۶ را برای دسته دوم به عنوان مبنا در نظر گرفتیم. سپس در هر یک از دیگر نمودارها، به ازای وجود قله مشابه در همان حوزه بسامدی (با اختلاف $50 + -$ هرتز با توجه به خطای اندازه‌گیری) عدد ۱ را در نظر گرفتیم و در نهایت این اعداد را در هر الگو با یکدیگر جمع کردیم. سپس عدد به دست آمده را با توجه به تعداد کل قله‌ها در الگوی مبنا، درصدگیری کردیم؛ چنانکه این عدد، تقریبی کمی از میزان مشابهت یا تفاوت الگوها به دست می‌داد. سپس همین کار را برای هر یک از واکه‌ها در یک سخنگوی، اما با پنج‌بار تلفظ مختلف در جایگاه یکسان، یعنی ابتدای واژه پس از هم خوان انجام دادیم و میزان و درصد شباهت را محاسبه و در نهایت، این درصدها را برای هر واکه در برابر هم قرار دادیم.

امکان اینکه این کار با استفاده از رایانه انجام شود نیز به راحتی وجود دارد و در حقیقت اساس کار در روش معروف MFCC بر همین شیوه استوار است؛ با این تفاوت که در آن از ضرایب دقیق و پیچیده برای اندازه‌گیری شدت در بسامدهای مختلف استفاده می‌شود که این ضرایب براساس رابطه متقابل میان شدت، بسامد و شنوایی و ادراک صوتی توسط انسان به دست آمده‌اند؛ زیرا همان‌طور که پیشتر گفته شد، اساس کار ماشین‌های خودکار بازشناسی سخنگو بر بازشناسی به شیوه‌هایی مشابه آنچه که توسط ذهن انسان و پردازش مغزی سیگنال صوتی انجام می‌شود، قرار دارد.

از آنجا که استفاده از الگوهای طیف‌نگاشتی در بازشناسی خودکار سخنگو دقت بسیار بالایی دارند و نیازی به اثبات مجدد امکان استفاده آن‌ها در بازشناسی حقوقی سخنگو نیست، در اینجا تنها شیوه‌ای دستی برای کمی‌سازی این الگوها ارائه کردیم. البته امکان اینکه

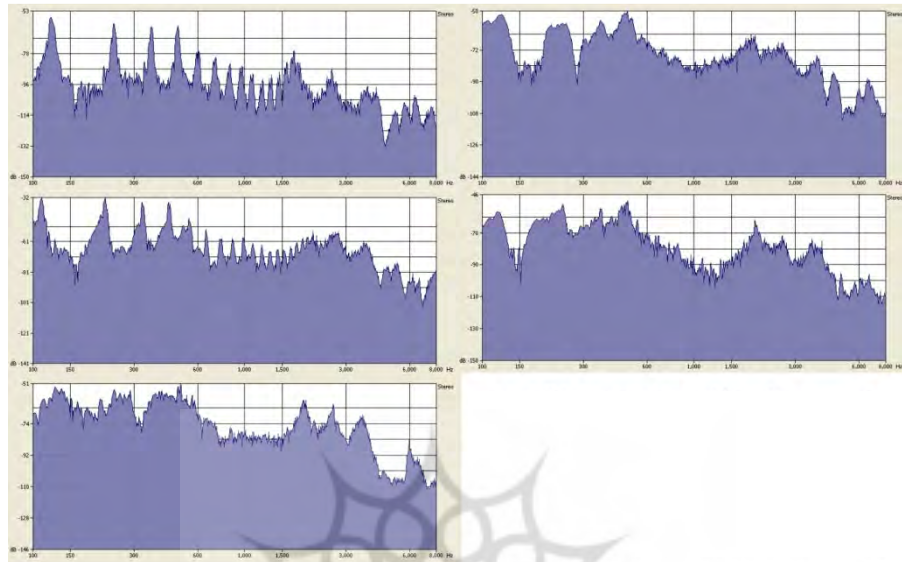
این روش با کمک مهندسین و با دقت بیشتر کمی‌سازی انجام شود و کار بازشناسی حقوقی به‌صورت میان‌رشته‌ای انجام شود، وجود دارد و بر دقت و اعتبار آن می‌افزاید. برای مقایسه بهتر، نمودارها را به شیوه‌هایی که در شکل‌های زیر می‌بینید، در برابر یکدیگر قرار داده‌ایم.



شکل ۳ نمودارهای طیف‌نگاشتی لگاریتمی نشان‌دهنده قله‌های انرژی مربوط به تلفظ

واکه [i] در هجای [ʔi] توسط سخنگویان شماره ۱ تا ۵

شکل بالا سمت چپ، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [i] که توسط سخنگوی شماره ۱ در هجای [ʔi] تولید شده است. شکل بالا سمت راست، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [i] که توسط سخنگوی شماره ۲ در هجای [ʔi] تولید شده است. شکل وسط سمت چپ، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [i] که توسط سخنگوی شماره ۳ در هجای [ʔi] تولید شده است. شکل وسط سمت راست، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [i] که توسط سخنگوی شماره ۴ در هجای [ʔi] تولید شده است. شکل پایین سمت چپ، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [i] که توسط سخنگوی شماره ۵ در هجای [ʔi] تولید شده است.

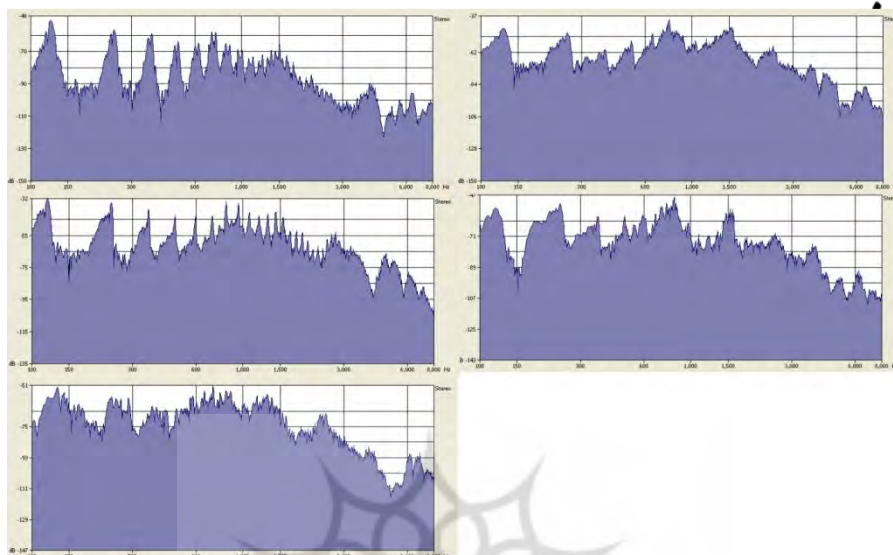


شکل ۴ نمودارهای طیف‌نگاشتی لگاریتمی نشان‌دهنده قله‌های انرژی مربوط به تلفظ

واکه [e] در هجای [ʔe] توسط سخنگویان شماره ۱ تا ۵

شکل بالا سمت چپ، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [e] که توسط سخنگوی شماره ۱ در هجای [ʔe] تولید شده است.
 شکل بالا سمت راست، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [e] که توسط سخنگوی شماره ۲ در هجای [ʔe] تولید شده است.
 شکل وسط سمت چپ، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [e] که توسط سخنگوی شماره ۳ در هجای [ʔe] تولید شده است.
 شکل وسط سمت راست، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [e] که توسط سخنگوی شماره ۴ در هجای [ʔe] تولید شده است.
 شکل پایین سمت چپ، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [e] که توسط سخنگوی شماره ۵ در هجای [ʔe] تولید شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
 پرتال جامع علوم انسانی

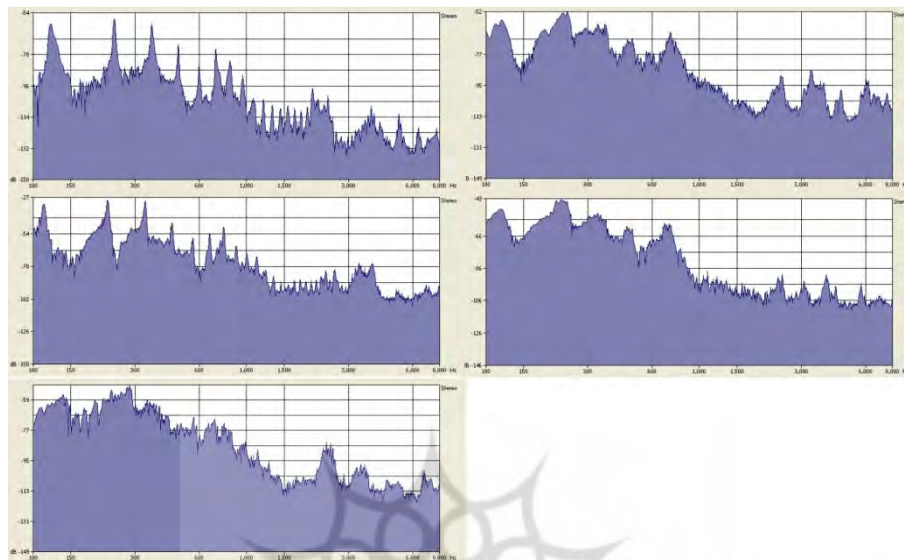


شکل ۵ نمودارهای طیف‌نگاشتی لگاریتمی نشان‌دهنده قله‌های انرژی مربوط به

تلفظ واکه [a] در هجای [ʔa] توسط سخنگویان شماره ۱ تا ۵

- شکل بالا سمت چپ، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [a] که توسط سخنگوی شماره ۱ در هجای [ʔa] تولید شده است.
 شکل بالا سمت راست، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [a] که توسط سخنگوی شماره ۲ در هجای [ʔa] تولید شده است.
 شکل وسط سمت چپ، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [a] که توسط سخنگوی شماره ۳ در هجای [ʔa] تولید شده است.
 شکل وسط سمت راست، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [a] که توسط سخنگوی شماره ۴ در هجای [ʔa] تولید شده است.
 شکل پایین سمت چپ، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [a] که توسط سخنگوی شماره ۵ در هجای [ʔa] تولید شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
 پرتال جامع علوم انسانی

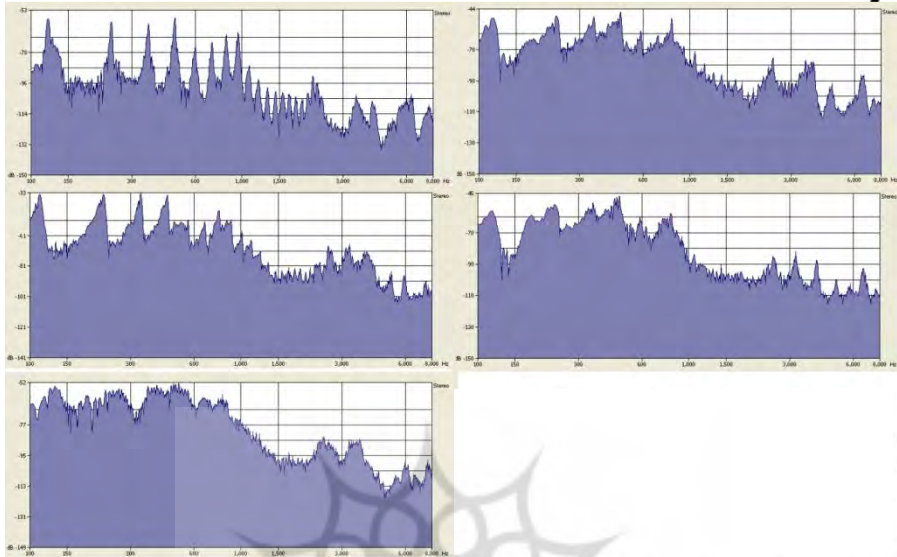


شکل ۶ نمودارهای طیف‌نگاشتی لگاریتمی نشان‌دهنده قله‌های انرژی مربوط به

تلفظ واکه [u] در هجای [ʔu] توسط سخنگویان شماره ۱ تا ۵

شکل بالا سمت چپ، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [u] که توسط سخنگوی شماره ۱ در هجای [ʔu] تولید شده است. شکل بالا سمت راست، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [u] که توسط سخنگوی شماره ۲ در هجای [ʔu] تولید شده است. شکل وسط سمت چپ، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [u] که توسط سخنگوی شماره ۳ در هجای [ʔu] تولید شده است. شکل وسط سمت راست، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [u] که توسط سخنگوی شماره ۴ در هجای [ʔu] تولید شده است. شکل پایین سمت چپ، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [u] که توسط سخنگوی شماره ۵ در هجای [ʔu] تولید شده است.

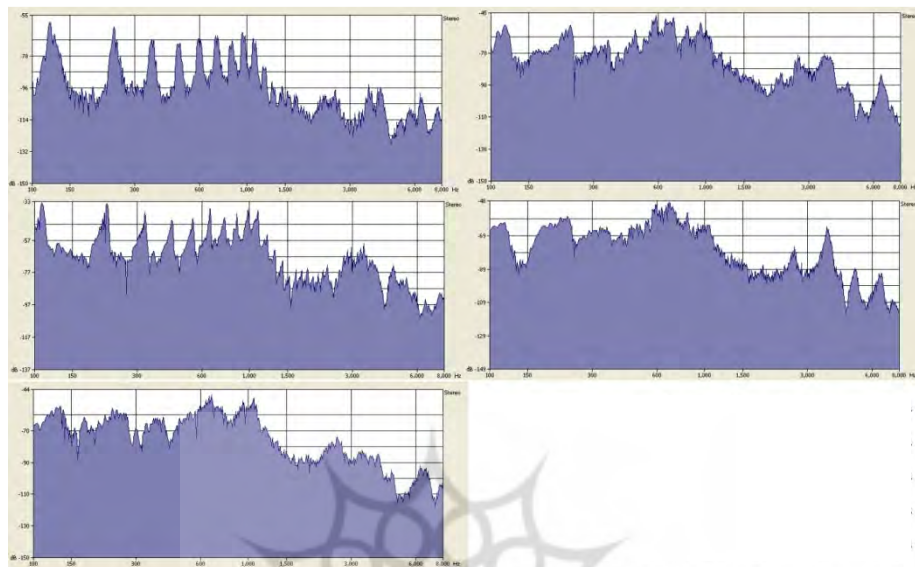
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۷ نمودارهای طیف‌نگاشتی لگاریتمی نشان‌دهنده قله‌های انرژی مربوط به تلفظ واکه [o] در جای [ʔo] توسط سخنگویان شماره ۱ تا ۵

شکل بالا سمت چپ، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [o] که توسط سخنگوی شماره ۱ در جای [ʔo] تولید شده است. شکل بالا سمت راست، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [o] که توسط سخنگوی شماره ۲ در جای [ʔo] تولید شده است. شکل وسط سمت چپ، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [o] که توسط سخنگوی شماره ۳ در جای [ʔo] تولید شده است. شکل وسط سمت راست، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [o] که توسط سخنگوی شماره ۴ در جای [ʔo] تولید شده است. شکل پایین سمت چپ، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [o] که توسط سخنگوی شماره ۵ در جای [ʔo] تولید شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۸ نمودارهای طیف‌نگاشتی لگاریتمی نشان‌دهنده قله‌های انرژی مربوط به

تلفظ واکه [a] در هجای [ʔa] توسط سخنگویان شماره ۱ تا ۵

شکل بالا سمت چپ، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [a] که توسط سخنگوی شماره ۱ در هجای [ʔa] تولید شده است. شکل بالا سمت راست، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [a] که توسط سخنگوی شماره ۲ در هجای [ʔa] تولید شده است. شکل وسط سمت چپ، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [a] که توسط سخنگوی شماره ۳ در هجای [ʔa] تولید شده است. شکل وسط سمت راست، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [a] که توسط سخنگوی شماره ۴ در هجای [ʔa] تولید شده است. شکل پایین سمت چپ، نمودار طیف‌نگاشتی واکه [a] که توسط سخنگوی شماره ۵ در هجای [ʔa] تولید شده است.

نتایج به‌دست‌آمده از کمی‌سازی این الگوها در جداول شماره ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱

واکه	سخنگو	تعداد قله‌های دارای برجستگی بالای 10dB	مجموع نمرات (الگوی مینا)	درصد تشابه با الگوی مینا
واکه [i]	سخنگوی شماره ۱	۱۷	(الگوی مینا)	-----
	سخنگوی شماره ۲	۱۴	۵	۲۹/۴۱
	سخنگوی شماره ۳	۱۶	۹	۵۲/۹۴
	سخنگوی شماره ۴	۱۱	۵	۲۹/۴۱
	سخنگوی شماره ۵	۸	۶	۳۵/۲۹



ادامه جدول ۱

واکه	سخنگو	تعداد قله‌های دارای برجستگی بالای 10dB	مجموع نمرات (الگوی مینا)	درصد تشابه با الگوی مینا
واکه [e]	سخنگوی شماره ۱	۲۰	(الگوی مینا)	-----
	سخنگوی شماره ۲	۹	۸	۴۰
	سخنگوی شماره ۳	۱۹	۱۲	۶۰
	سخنگوی شماره ۴	۸	۷	۳۵
	سخنگوی شماره ۵	۷	۳	۱۵
واکه [a]	سخنگوی شماره ۱	۱۵	(الگوی مینا)	-----
	سخنگوی شماره ۲	۱۰	۳	۱۵
	سخنگوی شماره ۳	۲۰	۱۳	۶۵
	سخنگوی شماره ۴	۱۱	۷	۳۵
	سخنگوی شماره ۵	۱۲	۷	۳۵
واکه [u]	سخنگوی شماره ۱	۱۹	(الگوی مینا)	-----
	سخنگوی شماره ۲	۱۱	۲	۱۰/۵۳
	سخنگوی شماره ۳	۱۸	۱۲	۶۳/۱۶
	سخنگوی شماره ۴	۸	۴	۲۱/۵
	سخنگوی شماره ۵	۸	۶	۳۱/۵۸
واکه [o]	سخنگوی شماره ۱	۱۷	(الگوی مینا)	-----
	سخنگوی شماره ۲	۹	۶	۳۳/۳۳
	سخنگوی شماره ۳	۱۸	۱۰	۵۵/۵۶
	سخنگوی شماره ۴	۹	۷	۳۸/۸۹
	سخنگوی شماره ۵		۸	۴/۴۴
واکه [a]	سخنگوی شماره ۱	۲۱	(الگوی مینا)	-----
	سخنگوی شماره ۲	۱۰	۵	۲۱/۸۱
	سخنگوی شماره ۳	۲۰	۱۲	۵۷/۱۴
	سخنگوی شماره ۴	۱۰	۵	۲۳/۸۱
	سخنگوی شماره ۵	۱۸	۱۰	۴۷/۶۲

جدول ۲

مجموع درصد تشابه با الگوی مبنا	سخنگو
(الگوی مبنا)	سخنگوی شماره ۱
۲۲/۳۸	سخنگوی شماره ۲
۴۸/۰۹	سخنگوی شماره ۳
۲۷/۴۹	سخنگوی شماره ۴
۲۶/۷۷	سخنگوی شماره ۵
۳۱/۱۸۲۵	میانگین تشابه الگوها

سپس این آزمایش‌ها را برای سخنگوی شماره ۱ و ۶ که الگوهای طیف‌نگاشتی واکه‌های آن‌ها را به‌عنوان مبنا در نظر گرفته بودیم، به‌طور جداگانه در تلفظ چهار هجای مختلف برای هر واکه انجام دادیم و با نتایج الگوی مبنا و نتایج از هر گروه مقایسه کردیم. جدول‌های مربوط به این بررسی برای سخنگوی ۱ و گروه اول در جدول شماره ۳ آمده است.

جدول ۳

درصد تشابه با الگوی مبنا	مجموع نمرات	سخنگوی شماره ۱	واکه
	-----	هجای [ʔi]	واکه [i]
۸۸/۲۴	۱۵	هجای [gi]	
۹۴/۱۲	۱۶	هجای [qi]	
۸۸/۲۴	۱۵	هجای [di]	
۱۰۰	۱۷	هجای [ti]	
	-----	هجای [ʔe]	واکه [e]
۸۵	۱۷	هجای [ge]	
۹۰	۱۸	هجای [qe]	
۸۵	۱۷	هجای [de]	
۹۵	۱۹	هجای [te]	



ادامه جدول ۳

واکه	سخنگوی شماره ۱	مجموع نمرات	درصد تشابه با الگوی مینا
واکه [a]	هجا [ʔa]	-----	
	هجا [Ga]	۱۴	۹۳/۳۳
	هجا [ga]	۱۴	۹۳/۳۳
	هجا [da]	۱۳	۹۶/۶۷
	هجا [ta]	۱۴	۹۳/۳۳
واکه [u]	هجا [ʔu]	-----	
	هجا [Gu]	۱۷	۸۹/۴۷
	هجا [gu]	۱۸	۹۴/۷۴
	هجا [du]	۱۶	۸۴/۲۱
	هجا [tu]	۱۸	۹۴/۷۴
واکه [o]	هجا [ʔo]	-----	
	هجا [Go]	۱۵	۸۸/۲۴
	هجا [go]	۱۶	۹۴/۱۲
	هجا [do]	۱۴	۸۲/۳۵
	هجا [to]	۱۷	۱۰۰
واکه [ɑ]	هجا [ʔɑ]	-----	
	هجا [Gɑ]	۱۸	۸۵/۷۱
	هجا [gɑ]	۲۰	۹۵/۲۴
	هجا [dɑ]	۱۷	۸۰/۹۵
	هجا [tɑ]	۱۹	۹۰/۴۸
درصد کل میزان شباهت با الگوی مینا			۹۰/۵۲

همان‌طور که گفته شد، مشخصه‌های طیف‌نگاشتی موج صوتی از مدت‌ها پیش با روش‌های متعدد برای بازشناسی خودکار سخنگو با درصد موفقیت بسیار زیاد برای واژگان محدود و بازشناسی فرد- بسته به کار می‌رفته‌اند؛ چنانکه الگوی ساده‌ای که در اینجا ارائه کرده‌ایم، تنها برای کمی‌سازی میزان شباهت بین الگوهای طیف‌نگاشتی واکه‌ای فرد واحد

است. عدد ۹۰/۵۲ برای میزان این شباهت، درصد قابل قبولی است؛ درحالی که میانگین میزان تشابه میان الگوهای طیف‌نگاشتی واژه‌های یکسان در تلفظ افراد مختلف، ۳۱/۱۸۲۵ درصد است و این موضوع، به‌خوبی اهمیت امکان استفاده از این ویژگی را به‌عنوان کلیدی معتبر برای بازشناسی حقوقی سخنگو، نشان می‌دهد.

۵. نتیجه‌گیری

براساس نتایج این پژوهش و درصد بالای مشابهت میان الگوهای طیف‌نگاشتی نشان‌دهنده قله‌های انرژی در واژه‌های تلفظ شده توسط فرد واحد (۹۰/۵۲ درصد)، می‌توان از این الگوها با اطمینان حدود ۹۰ درصد، به‌عنوان کلیدی کاربردی در فعالیت‌های مربوط به بازشناسی حقوقی سخنگو استفاده کرد؛ چنانکه فرض اولیه این پژوهش مبنی بر امکان استفاده از نمودارهای طیف‌نگاشتی لگاریتمی نشان‌دهنده قله‌های انرژی واژه‌ها، به‌عنوان کلیدی برای بازشناسی حقوقی سخنگو، تأیید می‌شود.

گفتنی است که در بازشناسی خودکار سخنگو از MFCC که یکی از متداول‌ترین شیوه‌های مورد استفاده در بازشناسی خودکار است، استفاده می‌شود و اساس کار آن بر مبنای همین نمودارهای طیف‌نگاشتی قله‌های انرژی است که در اینجا مورد بررسی قرار گرفت. در MFCC از شیوه آماری و الگوریتم ریاضیاتی برای کمی کردن شباهت‌ها و تفاوت‌های موجود در طیف‌نگاشت صوتی استفاده می‌شود. در این شیوه، بسامدهای زیر ۱۰۰۰ هرتز با برون‌داد طیف‌نگاشت، رابطه خطی^{۱۲} برقرار می‌کنند و برای بسامدهای بالای ۱۰۰۰ هرتز از رابطه لگاریتمی استفاده می‌شود، زیرا اساس شنیدار انسان نیز بر همین شیوه عمل می‌کند؛ یعنی داده‌ها را برای بسامدهای زیر ۱۰۰۰ هرتز به‌صورت خطی و برای بسامدهای بالاتر به‌صورت لگاریتمی تبدیل و دریافت می‌کند.

از آنجا که الگوهای ریاضیاتی به‌کاررفته در بازشناسی خودکار، از قوانین پیچیده آماری و ریاضیاتی پیروی می‌کنند و اساس کار این پژوهش بر بازشناسی غیرخودکار حقوقی و معیارهای آواشناختی آن استوار است، از این روش‌های ریاضیاتی پیچیده برای بازشناسی و ارائه ویژگی‌ها استفاده نشده است؛ البته مبنای این روش‌ها یکی است و آن استخراج ویژگی‌های مرتبط و برابری آن‌ها است.

۶. پی‌نوشت‌ها

۱. این مقاله از رساله دوره دکتری زبان‌شناسی نویسنده اول مقاله در دانشگاه فردوسی مشهد با عنوان *تحلیل آکوستیکی مکالمات ضبط شده و معیارهای بازشناسی سخنگو بر مبنای آواشناسی حقوقی استخراج شده است که در آن تحلیل‌های آکوستیکی متعددی، از جنبه‌های مختلف بر روی داده‌ها صورت پذیرفته است و مقاله حاضر توصیف و بررسی یکی از آزمایشات انجام‌گرفته در این رساله و ارائه تحلیل‌ها و نتایج مربوط به آن است.*
2. computational linguistics
3. forensic phonetics
4. speech recognition
5. speaker recognition
6. speaker identification
7. speaker verification
8. See: Hollien, 1990: 190-191; Nolan, 1983; idem. Et al, 2006; idem, 1997: 748; Elliot, 2000 Enzinger, 2010; Morrison, 2009; idem, 2011; idem, 2010; McMenamin, 2002: 67-107; Kinoshita, 1998; Rabiner and Juang, 1993.
9. forensic speaker identification
10. social background
11. speech spectrogram
12. linear

۷. منابع

- استاجی، اعظم (۱۳۸۵). «معرفی آواشناسی قانونی و برخی کاربردهای آن». *مجله زبان و زبان‌شناسی*. س ۲، ش ۲، پیاپی ۴، صص ۱۴۹-۱۵۶.
- استاجی، اعظم؛ مجتبی نامور فرگی و سریرا کرامتی یزد (۱۳۸۹). «تحلیل آکوستیکی همخوان انسدادی چاکنایی و بررسی امکان وجود دو واکه پیاپی در دو هجای متوالی در گفتار سریع و پیوسته در زبان فارسی». *مجله جستارهای زبانی (پژوهش‌های زبان و ادبیات تطبیقی سابق)*. د ۱، ش ۴، (زمستان)، صص ۲۷-۵۰.
- آقاگل‌زاده، فردوس (۱۳۸۴). «زبان‌شناسی حقوقی (قانونی)؛ رویکردی نوین در زبان‌شناسی کاربردی». *مجموعه مقالات اولین کنفرانس انجمن زبان‌شناسی ایران*. تهران: دانشگاه علامه طباطبایی. صص ۲۱۵-۲۲۵.
- ——— (۱۳۹۱). *زبان‌شناسی حقوقی (نظری و کاربردی)*. ویراست ۲، تهران: نشر علم.

- ثمره، یدالله (۱۳۸۱). *آواشناسی زبان فارسی: آواها و ساخت آوایی هجا*. تهران: مرکز نشر جهاد دانشگاهی.
- نامور، مجتبی (۱۳۹۱). *تحلیل اکوستیکی مکالمات ضبطشده و معیارهای بازشناسی سخنگو بر مبنای آواشناسی حقوقی*. رساله دکتری. دانشگاه فردوسی مشهد.
- Bavelas, L. & J. Gibson (1994). "Anomalous Language in Sexual Assault Trial Judgments". *Discourse and Society*. 5 (2). Pp. 189-206.
- Bolt, R.H. et al, (1969). "Identification of a Speaker by Speech Spectrograms". *Science*. Vol. 166
- Elliot, J. (2000). "Comparing the Acoustic Properties of Normal and Shouted Speech: a Study in Forensic Phonetics". in *Proc. Eighth Australian International Conference on Speech Science and Technology*. Canberra. 2000. Pp. 154-159.
- Enzinger, E. (2010). "Characterising Formant Tracks in Viennese Diphthongs for Forensic Speaker Comparison". *Proceedings of the 39th Audio Engineering Society Conference- Audio Forensics: Practices and Challenges*.
- Harris, Sandra (2001). "Fragmented Narratives and Multiple Tellers: Witness and Defendant Accounts in Trials". *Discourse Studies*. 2001. Vol. 3. No. 1. Feb. Pp. 53-74.
- Herbig, T., F. Gerl & W. Minker (2011). "Evolution of an Adaptive Unsupervised Speech Controlled System". *IEEE Workshop on Evolving and Adaptive Intelligent Systems*. EAIS-2011. Paris (France). April 2011.
- Hollien, H. (1990). *The Acoustics of Crime*, New York: Plenum Press. Pp. 190-191.
- Kersta, L.G. (1962). "Voiceprint identification". *Nature*. Vol. 196. No. 4861. Pp. 1253-1257.
- Kinoshita, Y. (1998). "Japanese Forensic Phonetics: Noncontemporaneous Within-Speaker Variation in Natural and Readout Speech". in R. Mannell and J. Robert-Ribes (eds.). *Proceedings of the 5th International Conference on Spoken Language Processing*. Australian Speech Science and Technology Association. Canberra. Pp. 145-148.



- Langford, Ian (2000). "Forensic Semantics: The Meaning of Murder, Manslaughter and Homicide". *Forensic Linguistics*. 7.1. Pp. 72-94.
- McMenamın, G.R. (2002). *Forensic Linguistics: Advances in Forensic Stylistics*. Boca Raton & London: CRC Press.
- Morrison, G.S. (2009). "Likelihood-ratio Forensic Voice Comparison Using Parametric Representations of the Formant Trajectories of Diphthongs". *J. Acoust. Soc. Americ.* 125. Pp. 2387-2397.
- Morrison, G.S. (2011). "A Comparison of Procedures for the Calculation of Forensic Likelihood Ratios from Acousticphonetic Data: Multivariate kernel Density (MVKD) Versus Gaussian Mixture Model-Universal Background Model (GMM-UBM)". *Speech Commun.* 53. Pp. 242-256.
- Morrison, G.S. & T.M. Nearey (2010). "Formant Measurer: Software for Efficient Human-Supervised Measurement of Format Trajectories". Release <http://geoffmorrison.net>
- Nolan, F. (1983). *The Phonetic Bases of Speaker Recognition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ----- (1997). "Speaker Recognition and Forensic Phonetics", In W. J. Hardcastle and J. Laver (Eds.). *The Handbook of Phonetic Sciences*. Pp. 744-767. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nolan, F., K. McDougall, G. Jong & T. Hudson (2006). *A Forensic Phonetic Study of 'Dynamic' Sources of Variability in Speech: The DyViS Project*. Department of Linguistics, University of Cambridge. United Kingdom.
- Over, H., W. Lashbrook, C. Pedrev, J. Nicol, E. Nash & O. Tosi (1972). "Experiment on Voice Identification". *Journal of the Acoustical Society of America*. 51. Pp. 2030-2043.
- Rabiner, L. & B.H. Yuang (1993). "Fundamentals of Speech Recognition". *Practice-Hall International Inc*. New Jersey 07632. Pp: 1-8
- Ramsland, k. (2005). "The Origins of Voiceprints" . Available at:

http://www.crimelibrary.com/criminal_mind/forensics/voceprints/1.html

- Rodman, R. D. (1997). *Speaker Recognition of Disguised Voices: A Program for Research, Department of Computer Science, North Carolina State University Raleigh, North Carolina*. Pp. 27695-8206 U.S.A.
- Stevens, Williams, Carbonelli and Woods, K.N. Stevens, C.E. Williams, J.R. Carbonelli & B. Woods (1968). "Speaker Authentication and Identification: A Comparison of Spectrographic and Auditory Presentations of Speech Material". *Journal of the Acoustical Society of America*. 43. Pp. 1596-1607.
- Tiersma, M. P. (1999). *Legal Language Chicago*: University of Chicago Press.

Translated Resources:

- Aghagolzade, Ferdows (1391). *Low Linguistics (In Theory and Practice)*. 2nd. Tehran: Nashre Elm [In Persian].
- ----- (2005). "Low Linguistics: New Approaches in Applied Linguistics". *Proceeding of the First Conference of Conference Iran's Linguistics Association*. Tehran: Allameh Tabatabai University. Pp. 215-225 [In Persian].
- Estaji, Azam (2006). "An Introduction to Low Phonetics and Some of Its Applications of it". *The Journal of Language and Linguistics*. Year 2. Vol. 2 (Tome 4). Pp. 149-156 [In Persian].
- Estaji, Azam, Mojtaba Namvar Fargi & Sarira Keramati Yazdi (2011). "An Acoustic Analysis of Glottal Stop and the study of the possibility of Existing Two Adjacent Vowel in Successive Syllables in Rapid Speech in Persian". *Journal of Language Related Research (Former Comparative Language and Literature Research)*. Vol. 1. No. 4. Pp. 27-50 [In Persian].
- Namvar, M. (2012). *Echosystic Analysis of Recorded Conversations and the Criteria for Identifying The Lecture speaker Based on Low Phonetic* Ph.D. Disstation. Ferdowsi University of Mashhad [In Persian].
- Thamareh, Yadollah. (1381). *Persian Phonetics*. Tehran: Jahade Daneshgahi Publishing [In Persian].