طراحی الگوریتم بازشناسی واج‌ها با به کارگیری همبسته‌های آکوستیکی مشخّصه‌های واجی

مسعود شریفی آتشگاه، وحید صادقی
گروه زبان انگلیسی، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی

چکیده

در مقالهٔ حاضر، در چارچوب واج‌شناسی غیرخطی با بهره‌گیری از مدل اندام‌های گویایی فعال، ابتدا به بررسی هندسهٔ مشخّصه‌های واجی در قالب مشخصه‌های مستقل از اندام‌های گویایی فعال و مشخّصه‌های وابسته به آنها پرداخته و واج‌های فارسی را در این مدل توصیف می‌نماییم. سپس الگوی آوایی مرجع هر مشخّصهٔ واجی که شامل یک یا مجموعه‌ای از همبسته‌های آکوستیکی آن مشخّصه بوده و در بازنمود آوایی آن با مقادیر یا ارزش‌های کیفی مشخّص می‌شوند، با تحلیل آکوستیکی و تجزیه و تحلیل آماری داده‌های جمع‌آوری‌شده، تعیین می‌گردند. درنهایت، الگوریتمی ارائه می‌گردد که درون‌داد آن سیگنال آوایی مربوط به واج‌های فارسی در یکی از دو بافت CV و VC بوده و حاوی پیمانه‌هایی است که از همبسته‌های آکوستیکی مشخّصه‌های واجی بهره می‌گیرد تا واج مربوطه را شناسایی کرده و به‌عنوان برون‌داد ارائه نماید. یافته‌های تحقیق حاضر می‌تواند نقش قابل‌ملاحظه‌ای در افزایش دقّت و سرعت سیستم‌های بازشناسی گفتار فارسی داشته باشد.

واژگان کلیدی: واج‌شناسی غیرخطی، اندام‌های گویایی فعّال، مشخّصهٔ واجی، همبستهٔ آکوستیکی، الگوی آوایی مرجع

۱- مقدمه

هدف این مقاله طراحی الگوریتمی برای بازشناسی واج‌های زبان فارسی است. این الگوریتم، واج‌های مربوطه را از روی نشانه‌های آکوستیکی مشخصه‌های واجی سازندهٔ آنها بازشناسی می‌کند. الگوریتم مورد نظر بر پایهٔ نظریهٔ آکوستیکی درک گفتار طراحی شده است. در این نظریه، درک پیام زبانی از طریق پردازش شنیداری الگوهای آکوستیکی در حوزهٔ شنوایی و نگاشت الگوهای آکوستیکی بر مشخصه‌ها یا واحدهای آوایی ناپیوسته صورت می‌گیرد (Stevens, 1998:244-25, 2000:1-2 ؛ Nearey, 1997:3-10). بر اساس این نظریه، الگوهای آکوستیکی هر واج یا مشخصهٔ واجی به‌صورت الگوهای آوایی مرجع در بازنمایی آوایی آن ذخیره می‌شود و درک آن واج یا مشخّصهٔ واجی از طریق انطباق الگوهای آکوستیکی درون‌داد با الگوهای آوایی مرجع در بازنمایی آوایی آن واحد واجی، صورت می‌گیرد (Stevens, 1998:244-253; 2000:1-2). ازاین‌رو، شنونده ابتدا امواج صوتی حاصل از فعّالیت دستگاه گفتار را از طریق الگوهای آوایی مرجع هر واحد یا مشخّصهٔ واجی[1] به بازنمود آوایی (ادراکی) آن واحد که دربرگیرندهٔ مجموعه‌ای از پارامترهای آوایی ناپیوسته (دو ارزشی) است، نگاشته و سپس پیام زبانی را از طریق انطباق بازنمود آوایی با الگوهای واجی درک می‌کند (Jakobson et al., 1957:2-66؛ Stevens, 1998:244-253). در چارچوب نظریهٔ آکوستیکی درک گفتار، هر واحد واجی به‌عنوان یک واحد ادراکی در فضای آکوستیکی خود یک حوزهٔ مغناطیسی ایجاد می‌کند و تمامی نمونه‌های وابسته به خود را جذب می‌کند (Nearey, 1992:1-4, 1997:3-10). به عبارت روشن‌تر، الگوهای آکوستیکی مرجع در بازنمود آوایی واحدهای واجی به‌گونه‌ای مشخّص شده‌اند که شنونده

[1] Phonological feature

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-06]

می‌توانـد مـرز ادراکـی میـان آنهـا را شـناخته و پارامترهـای آکوستیکی را در نواحی ادراکی خاص خود بنگارد.

در نظریهٔ آکوستیکی درک گفتار، مشخّصه‌های واجـی به‌عنوان واحدهای بنیـادین درک واج شـناختی درنظرگرفتـه می‌شوند. فرض بر این است که این مشخصه‌ها جهانی بوده و در بـازنمود آوایـی هـر یـک از آنهـا مجموعـه‌ای از الگوهـای آکوستیکی مشخّص ذخیره شده‌انـد (*Keyser and Stevens, 1994:207-236*). براین‌اساس، بازشناسـی یـک واج، حاصـل بازشناسی تمامی مشخّصه‌های واجی سازندهٔ آن است.

۲- هندسهٔ مشخّصه‌های واجی

کلمات در ذهن اهـل زبـان بـه‌صـورت زنجیـره‌ای از عناصـر واجـی کـه هـر یـک از مجموعـه‌ای مشخّصـه‌هـای واجـی تشکیل شـده‌انـد، ذخیـره مـی‌شـوند. مشخّصـه‌هـای واجـی بـر دو نـوع‌انـد: (*Kenstowicz, 1994*)، (*Halle, 1992*)، (*Stevens, 1998:245-252*)، (*Stevens, 2000:1*) یکـی‌دسـته مشخّصه‌های مستقل از انـدام گویـایی فعـال کـه واحـدهای واجی را از نظـر رسـا و همخـوانی بـودن مشـخص مـی‌کنـد. واحـدهای رسـا[1] ([+رسـا]) شـامل واکـه‌هـا، غلـت‌هـا[2]، همخوان‌های خیشومی[3] و همخـوان‌هـای روان[4] هسـتند کـه اساساً گرفتگـی قابـل ملاحظـه‌ای در دسـتگاه گفتـار ایجـاد نمی‌کنند. از میان این طبقات واجی، واکه‌ها و غلت‌هـا دارای مشخصـه ([-همخـوان]) و همخـوان‌هـای خیشـومی و روان دارای مشخّصه ([+همخوان]) هسـتند. واحـدهای غیـر رسـا ([-رسا]) شامل همخوان‌های گرفته هستند که به سه طبقـهٔ انسدادی، سایشی و انسدادی‌سایشی تقسیم مـی شـوند. ایـن همخوان‌ها با استفاده از مشخّصهٔ [پیوسته] از یکدیگر متمایز می‌شـوند؛ بـدین‌ترتیـب کـه همخـوان‌هـای انسـدادی دارای مشخّصهٔ[-پیوسته]، همخـوان‌هـای سایشـی دارای مشخّصـهٔ [+پیوسته] و همخوان‌های انسدادی سایشـی دارای مشخّصـهٔ [-پیوسته، +پیوسته] هستند. همچنـین، مشخّصـهٔ [کنـاری] همخوان کناری[5] /l/ ([+کنـاری]) را از دیگـر همخـوان‌هـای ([-کناری]) متمایز می‌کند.

دستهٔ دیگر، مشخّصه‌های وابسته به اندام گویایی فعّال هستند کـه انـدام‌هـای گویـایی‌ای را کـه در دسـتگاه گفتـار گرفتگی ایجاد می‌کنند، مشـخّص مـی‌سـازند. بـه‌طـور کلـی اندام‌های گویایی در سه حفرهٔ اصلی(حفره دهان، حفره بینی و حفره حلق) در دستگاه گفتار فعال می‌شوند.

الف) حفرهٔ دهان: در حفرهٔ دهان سه انـدام گویـایی وجـود دارد که عبارتند از لب‌ها، تیغهٔ زبان و بدنهٔ زبان.

۱- لب‌ها: این اندام گویایی برای توصیف آواهایی اسـت که در آنها فعالیت لب‌ها منجر به ایجاد نـوعی گرفتگـی (از نوع بست، سایش و جلو آمدگی لـب‌هـا) در دسـتگاه گفتار می‌شود. یکی از مشخّصه‌های وابسته به این انـدام گویایی مشخّصهٔ [گرد] است که مسیر حرکت لب‌هـا را به سمت جلو نشان می‌دهد.

۲- تیغه زبان: تیغه زبان اندام گویـایی فعّـال آواهـایی است که در تولیدشان ناحیه‌ای از سطح زبان که در حدّ فاصل میان نوک تا تیغـهٔ زبـان اسـت، فعّـال مـی‌شـود. تماس تیغهٔ زبان با ناحیه‌ای از دندان تا لثهٔ کام، آواهـای پیش‌بسته ([+پیش‌بسته]) را تولید مـی‌کنـد (ماننـد /t/، /d/، /s/، /z/، /l/ و /n/) و تماس آن با ناحیهٔ پـس‌لثـوی (مـرز میـان لثـه و کـام) آواهـای غیـرپیش‌بسـته ([-پیش‌بسته]) را به‌دست می‌دهد (مانند/ʃ/، /ʒ/ و /r/). همچنین، آواهایی که گرفتگـی‌اشـان در امتـداد ناحیـهٔ وسـطی مقطـع عرضـی حفـرهٔ دهـان بـه میـزان قابـل‌ملاحظـه‌ای بـزرگ باشـد [+پخـش] و بقیـهٔ آواهـا [-پخش] هستند. در زبان فارسی سایش‌های لثـوی /s/ و /z/ و لثوی‌کامی /ʃ/ و /ʒ/ [+پخش] و سایر سایشی‌هـا [-پخش] هستند (*بی‌جن‌خان، ۱۳۷۴: ۴۳*).

۳- بدنه زبان: بدنهٔ زبان اندام گویایی آواهایی است که در تولیدشان بدنهٔ زبان یا به سوی سقف دهان افراشـته می‌شود[+ افراشته]؛ یا تا حدّی پایین‌تـر از سـطح مـلاز پایین می‌آید[+ افتاده] و یا به سوی دیوارهٔ عقبی حفـرهٔ حلق عقـب مـی‌رود [+پسـین]. واکـه‌هـای /i/ و /u/ [+ افراشته]، /a/ و /ɑ/ [+افتـاده] و /e/ و /o/ [-افراشـته] و [- افتاده] هستند. همچنـین، /i/، /e/ و /a/ [-پسـین] و /u/، /o/ و /ɑ/ [+پسـین] هسـتند. بـه‌عـلاوه، مشخّصـهٔ [+پسین] برای توصیف همخوان‌هـای بدنـه‌ای /k/ و /g/ که با قسمت عقبی بدنهٔ زبان تولید می‌شوند به‌کارگرفته می‌شود.

ب) *حفره خیشوم:* حفـره خیشـوم تنهـا دارای یـک انـدام گویایی، یعنی نرم‌کام است. آواهایی کـه در تولیـد آنهـا دریچهٔ نرم‌کام با پایین آمدن نرم‌کام باز شـده و جریـان

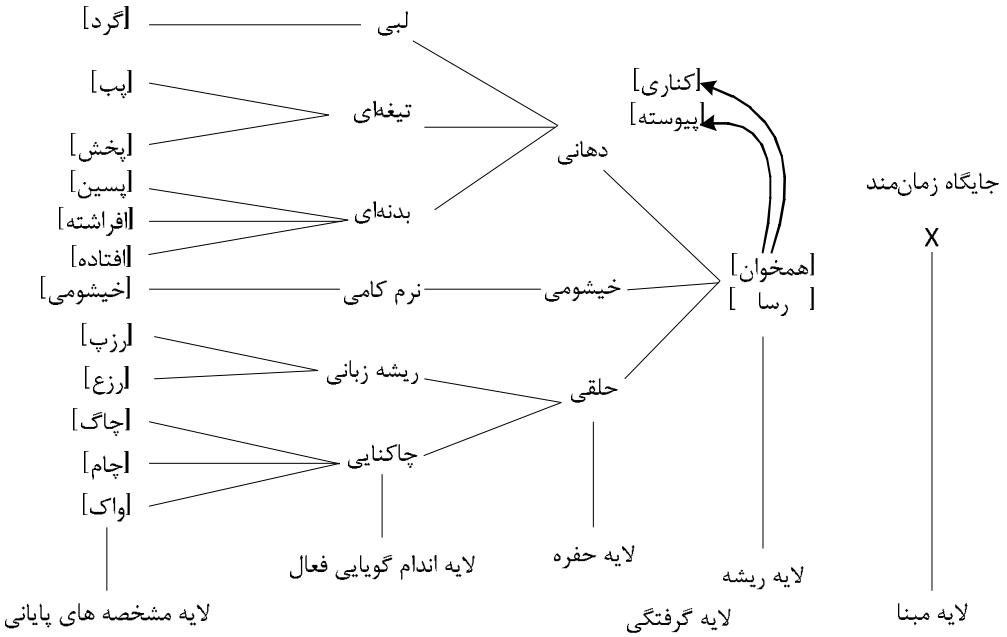
[1] sonorant
[2] glide
[3] nasal
[4] liquid
[5] lateral

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-06]

هـوا وارد حفـرهٔ بینـی مـی‌شـود؛ماننـد /m/ و /n/ [+خیشومی] و سایر آواها [-خیشومی] هستند.

ج) ***حفرهٔ حلق:*** در حفرهٔ حلق دو اندام گویایی فعّال حضـور دارد: ریشهٔ زبان و چاکنای.

۱- ریشه زبان: ریشهٔ زبان اندام گویـایی فعّـال بخـش پایین حلق است. ریشهٔ زبان می‌تواند بـه سـمت دیـوارهٔ عقبی حفرهٔ حلق حرکت کرده و همخوان‌های حلقـی را تولید کند ([ریشه زبان‌عقب رفته]) و همچنین می‌تواند به سمت جلو پیش برود و حجم حلـق را افـزایش دهـد ([ریشه‌زبان پیش آمده]). در زبان فارسی، این انـدام در تولید آواها فعال نیست.



(شکل ۱): نمودار درختی مربوط به اندام‌های گویایی فعّال *(به نقل از هله ۱۹۹۲)*

۲- چاکنای: اندام گویایی دیگری کـه در حفـرهٔ حلـق وجود دارد، چاکنای است. چاکنـای مـی‌توانـد گسـترده شود؛ منقبض شود و یا در وضعیتی قـرار گیـرد کـه بـه ارتعاش تارآواها منجر گردد که این حالت‌هـای مختلـف موجب پیدایش مشخصه‌های آوایی [چاکنای گسـترده]، [چاکنای منقبض‌شده] و [واک] می‌شود.

(شکل۱) ساختار سلسله‌مراتبی اندام‌های گویایی فعّال را در حفره‌های دستگاه گفتار نشان می‌دهـد. در ایـن شـکل مشخّصه‌های مستقل از اندام گویایی در گرهٔ ریشه، مشـخّص شده‌اند.

۳- الگوی آوایی مرجـع[1] مشخّصـه‌هـای واجی

الگوی آوایی مرجع هر مشخّصهٔ واجی، یک یا مجموعـه‌ای از همبسته‌های آکوستیکی آن مشخصـه اسـت کـه در بـازنمود آوایی آن با مقادیر یا ارزش‌هـای کیفـی، ماننـد کـم یـا زیـاد (شـدت انـرژی)، بـالا یـا پـایین (بسـامد) و غیـره، مشـخّص می‌شوند. این مقادیر کیفی از تحلیل آکوسـتیکی و تجزیـه و تحلیل آماری داده‌های مربوطه و محاسـبه میـانگین مقـادیر همبسـته(هـای) آکوسـتیکی مـورد نظـر تعیـین مـی‌شـوند. براین‌اساس، برای تعیـین الگـوی آوایـی مرجـع مشـخه‌هـای واجی، مراحل زیر انجام شده است:

۳-۱- شناسـایی نشـانه‌هـای آکوسـتیکی مشخّصه‌های واجی

نشانه‌های آکوستیکی مشخصه‌های واجی نیز با توجّه به ساختار هندسهٔ مشخّصه‌ها بر دو نوع است: یکی نشانه‌های مستقل از اندام‌های گویایی[2] و دیگری نشانه‌های وابسته به اندام‌های گویایی.

۳-۱-۱- نشانه‌های آکوستیکی مستقل از اندام‌های گویایی

نشانه‌های مستقل از اندام‌هـای گویـایی، نشـانه‌هـای مـرزی هستند که مرز واحدها را بر روی علامـت گفتـاری مشـخّص

[1] reference phonological pattern

[2] articulator

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-06]

می‌کنند (Stevens, 1998:45-52)، (Stevens, 2000:1-2). این نشانه‌ها باعث شناسایی مشخّصه‌های مربوط به گرهٔ ریشه در هندسهٔ مشخّصه‌ها می‌شوند. وقتی مشخصه [- همخوانی] در دستگاه گفتار فعّال می‌شود (به‌طور مثال در تولید واکه‌ها یا همخوان غلت /j/)، شدّت انرژی بسامدهای پایین، افزایش می‌یابد. بنابراین وجود قلّه در بسامدهای پایین، به‌عنوان نشانهٔ مرزی این مشخّصه در نظر گرفته می‌شود (Stevens, 1998:55; Stevens, 2000: 1-2). اما وقتی مشخّصه [+ همخوانی] (شامل تمامی همخوان‌ها به غیر از غلت /j/) در دستگاه گفتار فعال می‌شود، شکل طیف بسامدی سازه‌ها ناپیوسته می‌شود (Fant, 1973). وجود ناپیوستگی[1] یا ناشی از تغییر ناگهانی فشار جریان هوای فوق حنجره است (در همخوان‌های گرفته یا غیر رسا) و یا تغییر شکل فضای هندسی دستگاه گفتار است، همچون بست یا رهش همخوان‌های رسا (Stevens, 2000:2)، (Fant, 1973). به‌طورکلی با فعّال‌شدن مشخّصهٔ [+همخوانی] دو الگوی ناپیوستگی در طیف‌نگاشت به وجود می‌آید؛ یکی زمانی که الگوی گرفتگی ایجاد می‌شود و دیگری زمانی که الگوی گرفتگی باز می‌شود. تفاوت همخوان‌های رسا و غیررسا در فضای آکوستیکی با توجه به حضور شدّت انرژی در بسامدهای پایین برای همخوانی‌های رسا و سکوت یا شدت انرژی کم در همین محدودهٔ بسامدی برای همخوان‌های غیررسا قابل‌تشخیص است.

۳-۱-۲- نشانه‌های آکوستیکی وابسته به اندام‌های گویایی

تحلیل آکوستیکی علائم آوایی در مجاورت نشانه‌های مرزی منجر به شناسایی نشانه‌های مربوط به مشخّصه‌های آوایی وابسته به اندام گویایی فعال می‌شود (Stevens, 1998:45-52)، (Stevens, 2000:1-3).

در مورد همخوان‌ها، نشانه‌های آکوستیکی مربوط به اندام گویایی فعّال، عبارتند از:

۱- نشانه‌هایی که به شناسایی اندام‌های گویایی اصلی (لب‌ها، تیغه زبان و بدنه زبان) می‌انجامند. این اندام‌ها، اندام‌هایی هستند که فعّالیت‌شان منجر به نوعی الگوی گرفتگی در جهاز صوتی می‌شود. این نشانه‌ها از سه محدودهٔ زمانی؛ الف: بخش ایستان همخوان‌ها، ب: آغازه و ج:گذرپایانه، استخراج می‌شوند. بخش ایستان یک همخوان، شامل مرحلهٔ اوج فعّالیت الگوهای تولیدی برای تولید همخوان مورد نظر است. محدودهٔ زمانی گذر آغازه، شامل همپوشی الگوهای تولیدی یک واکه با آغازهٔ الگوهای تولیدی همخوان مورد نظر است. محدودهٔ زمانی گذرپایانه، شامل همپوشی الگوهای تولیدی یک واکه با پایانهٔ الگوهای تولیدی همخوان مورد نظر است (بی‌جن‌خان، ۱۳۷۴: ۲۵۶). این همپوشی‌ها بر بسامد سازه‌ها اثر گذاشته و باعث تغییر مسیر حرکتی آنها می‌شود. الگوی گذرسازه‌ها تابعی از محل تولید همخوان‌هاست، فرض بر آن است که شکل گذرسازه‌ها برای محل‌های تولید یکسان، صرف‌نظر از طبقهٔ واجی همخوان‌ها، یکسان است (Johnson, 1997)، (Stevens, 1998). بنابراین، به‌عنوان مثال، انتظار می‌رود الگوی گذرسازه‌ها برای تمامی همخوان‌های لبی مانند /p/، /b/، /f/، /v/ و /m/ به یکدیگر شبیه باشد. نقش گذرسازه‌های اوّل و دوم، یعنی **F1** و **F2** در تشخیص محل تولید همخوان‌ها بیشتر از سازه‌های دیگر است. الگوی گذر این سازه‌ها را به‌ترتیب با **ΔF1** و **ΔF2** نشان می‌دهیم. **ΔF1** و **ΔF2** در گذرپایانه، یک همخوان (بافت **CV**) از لحظهٔ شروع تناوب چاکنایی برای واکه تا لحظه‌ای است که شیب تغییرات بسامد **F1** و **F2** به یک میزان ثابت برای واکه مورد نظر می‌رسند. **ΔF1** و **ΔF2** در گذرآغازهٔ یک همخوان (بافت **VC**) از لحظهٔ شروع تغییرات بسامد **F1** و **F2** در بخش پایانی واکه قبل است تا لحظه‌ای که الگوی تناوب چاکنایی برای واکه متوقف شده و شیب تغییرات بسامد به پایان می‌رسد.

همبسته‌های آکوستیکی محل تولید همخوان‌ها در بخش ایستان با توجّه به طبقهٔ واجی آنها که از طریق مشخّصه‌های گرهٔ ریشه مشخّص می‌شود، متفاوت است. مهم‌ترین و معتبرترین همبسته‌های آکوستیکی محلِ تولیدِ طبقاتِ مختلف همخوان‌ها به‌ترتیب زیر است:

همخوان‌های انسدادی: همبسته‌های بخش ایستان همخوان‌های انسدادی در ناحیهٔ رهش تظاهر می‌یابد بدین‌صورت که الگوی توزیع شدّت انرژی در قطعهٔ رهش همخوان‌های انسدادی با توجّه به محل تولید آنها تا حدّ زیادی قابل تغییر است (Stevens and Blumstein, 1975:215-233)، (Stevens, 1998:330)، (Stevens,2000:5)، (Heyward, 2002:187)، (Stevens, 1998:330)، (Stevens, 2000:5) استیونز معتقد است آنچه به‌طور اساسی باعث تقابل محل تولید

[1] discontinuity

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-06]

همخوان‌های انسدادی می‌شود، تفاوت در بیشینهٔ میزان شدّت انرژی طیف در نواحی بسامدی بالای ۳۰۰۰ هرتز است. وی (همان) برای کمّی‌سازی شکل کلّی طیف بسامدی همخوان‌های انسدادی، سه همبستهٔ آکوستیکی[1] را معرفی کرده است: **Ahi-A23**، **Av-Ahi** و **Av-max23**. **Ahi-A23**، اختلاف بیشینهٔ دامنهٔ طیف رهش در نواحی بسامدی بالای ۳۰۰۰ هرتز نسبت به میانگین دامنهٔ قلّه‌های بسامدی **F2** و **F3**؛ **Av-Ahi**، اختلاف بیشینهٔ دامنهٔ **F1** (**Av**) نسبت به بیشینهٔ دامنهٔ طیف رهش (**Ahi**) و **Av-maxA23** اختلاف دامنهٔ **Av** و بیشینهٔ دامنهٔ طیف در محدودهٔ **F2** و **F3** است.

علاوه‌براین، برای انسدادی‌های واکدار، دو همبستهٔ **F10** بسامد **F1** در اولین تناوب چاکنایی و **F20** بسامد **F2** در اولین تناوب چاکنایی، نیز مطرح شده است: **F10** و **F20**(*Stevens, 2000*). در جایگاه بعد از واکه با توجّه به این که قطعهٔ رهش به‌طور کامل تظاهر آوایی ندارد، تنها **ΔF2** معیار تشخیص محل تولید انسدادی‌ها قرار می‌گیرد.

همخوان‌های سایشی: مهم‌ترین همبستهٔ محل تولید همخوان‌های سایشی در بخش ایستان هم قبل و هم بعد از واکه، حداقل بسامد دارای شدّت انرژی بیشینه است. این متغیر را با F نشان می‌دهیم. هر قدر فاصلهٔ محل گرفتگی از لب‌ها دورتر باشد، میزان F، کمتر و هرقدر به آن نزدیک‌تر باشد، میزان F بیش‌تر است (*Stevens and Rafael, 2005:185*)، (*Stevens, 1998:330*)، (*Blumstein, 1975:215-233*).

همخوان‌های انسدادی-سایشی: الگوی آکوستیکی همخوان‌های انسدادی- سایشی /t◁/ و /d↗/ هم در بخش ایستان و هم در ناحیهٔ گذرآغازه و پایانه، مانند همخوان‌های سایشی /◁/ و /↗/ است. تنها تفاوت آنها در این است که در /t◁/ و /d↗/ پیش از سایش، بست وجود دارد که طی مدّت زمان بسیار کوتاه به سایش تبدیل می‌شود. بنابراین وجود بست، عامل اصلی تمایز انسدادی سایشی‌های /t◁/ و /d↗/ از سایش‌های /◁/ و /↗/ است.

همخوان‌های خیشومی: جفت‌شدگی دو حفرهٔ دهان و خیشوم در همخوان‌های خیشومی، باعث افت قابل‌ملاحظهٔ انرژی در برخی نواحی بسامدی می‌شود. به این بسامدهای تضعیف شده، ضدّسازه یا صفرانرژی گفته می‌شود (*Johnson, 1997*)، (*Stevens, 1998*). چون فاصلهٔ میان دریچهٔ نرم‌کام تا ناحیهٔ لثه در مقایسه با لب‌ها کمتر است، بسامد ضدّسازه در خیشومی لثوی /n/ در مقایسه با خیشومی لبی /m/ بیشتر است (*Zue, 1989*)، (*Johnson,*

[1] acoustic correlate

Stevens, 1997), (1998). بنابراین، محل حضور ضدّسازه یکی از نشانه‌های اصلی تشخیص محل تولید همخوان‌های خیشومی است. از نظر زو (*Zue, 1989*)، گذرسازه‌ای **ΔF3** نیز می‌تواند نشانهٔ به‌نسبه مناسبی برای تشخیص خیشومی‌ها باشد که البته در مجاورت همهٔ واکه‌ها این تشخیص ممکن نیست.

همخوان‌های روان: مهم‌ترین نشانه‌های محل تولید همخوان‌های روان /l/ و /r/ الگوی گذرسازه‌های **F1** و **F2** برای همپوشی آغازه و پایانهٔ این همخوان‌ها با واکه‌ها است. با توجّه به فعّالیت تیغهٔ زبان برای تولید این همخوان‌ها انتظار می‌رود الگوی گذرسازه‌ها برای این همخوان‌ها و دیگر همخوان‌های تیغه‌ای یکسان باشد. با توجّه به شباهت آکوستیکی همخوان روان /l/ به خیشومی /n/، یکی از نشانه‌های قابل اطمینان جهت تمایز این دو، تعداد سازه‌های زیر ۳۰۰۰ هرتز می‌باشد. همچنین در مورد همخوان روان /r/، ازآنجایی‌که سازه‌های **F2** و **F3** به یکدیگر بسیار نزدیک هستند و سازه‌های /r/ خود را به سازه‌های واکه مجاور نزدیک می‌کنند، **ΔF3** می‌تواند به‌عنوان همبستهٔ آکوستیکی روان /r/ محسوب گردد (*Johnson, 1997*)، (*Stevens, 1998*).

۲- نشانه‌هایی که تابعی از فعالیت اندام‌های گویایی غیر اصلی همچون حرکت نرم‌کام، سفتی تارآواها، حرکت کناره‌های زبان، لرزش نوک زبان و غیره هستند. این نشانه‌ها نیز همچون نشانه‌های مربوط به اندام‌های گویایی اصلی در سه محدودهٔ زمانی بخش ایستان واج‌ها، محدودهٔ زمانی گذرآغازه و گذرپایانهٔ واج‌ها قابل شناسایی هستند. باز شدن دریچهٔ نرم‌کام چنان‌که گفته شد باعث افت قابل‌ملاحظه انرژی در بسامدهای خاص می‌شود که ضدّسازه گفته می‌شود. بنابراین حضور ضدّسازه به معنای فعّالیت یک الگو یا مشخّصهٔ [خیشومی] و عدم حضور آن به معنای فعّالیت یک الگوی [دهانی] است. برای پارامتر آوایی سفتی تار آواها که همبستهٔ تولیدی مشخصهٔ واجی واک است دو نشانهٔ آکوستیکی مطرح شده است (*Stevens, 2000:1-3*) که عبارتند از: ۱) زمان شروع توزیع انرژی روی بسامدهای پایین پس از رهش گرفتگی (زمان شروع واک)؛ ۲) حضور شدّت انرژی در بسامدهای پایین. فعّالیت کناره‌های زبان در همخوان کناری /l/ از طریق تعداد سازه‌های بسامدی پایین‌تر از بسامد ۳۰۰۰ هرتز قابل تشخیص است (*Johnson, 1997*)، (*Stevens, 1998*).

همچنین، لرزش نوک زبان نیز از طریق اندازه‌گیری فاصلهٔ بسامدی سازه‌های دوم و سوم قابل تشخیص است (*Johnson, 1997*)، (*Stevens, 1998*).

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-06]

در واکه‌ها، تشخیص نوع واکه عمدتاً از طریق تعیین مقادیر بسامدهای سازه‌ای مؤثر آنها (یعنی سازه‌های **F1**، **F2** و **F3**) که تابعی از شکل هندسی دستگاه گفتار است، صورت می‌گیرد. البته مقدار بسامد پایه به‌صورت تابعی از وضعیت تارآواها و میزان جریان هوای زیرحنجره و پهنای نوار بسامدهای پایین نیز از دیگر نشانه‌های تشخیص واکه‌ها هستند؛ ولی میزان اعتبار این نشانه‌ها نسبت به بسامدهای **F1**، **F2** و **F3** به مراتب کمتر است و از این‌رو در بیش‌تر مطالعات آکوستیکی و شنیداری انجام شده بر روی واکه‌ها بسامد سه سازهٔ اوّل معیار اصلی تشخیص واکه‌ها در فضای واکه‌ای درنظرگرفته شده‌اند *(Stevens, 2000:2-3)*، *(Fant, 1973)*.

بر اساس تقسیم‌بندی درخت مشخّصه‌ها، سه واج **/ʔ/**، **/h/** و **/j/** جزو غلت‌ها به‌حساب می‌آیند *(Kenstowicz, 1994)*. ما نیز این سه واج موجود در فارسی را در طبقهٔ غلت‌ها قرار می‌دهیم. از نظر تولید **/ʔ/** همانند انسدادی‌ها تولید می‌شود که دارای بست و زمان رهش بسیار کوتاه است. گذرسازه‌های **F1** و **F2** به‌عنوان نشانهٔ حضور بست می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. غلت **/h/** نیز در تولید به‌صورت دمیدگی بوده و به‌صورت اغتشاش دیده می‌شود. غلت **/j/** همان سازه‌های مربوط به واکه **/i/** را دارد که در بافت **CV** ابتدا شبیه به این واکه بوده و یک رهش دیده می‌شود و در بافت **CV** به‌صورت یک سایشی واکدار و یا واکرفته دیده می‌شود که بسیار شبیه به آوای سایشی **/ç/** در زبان آلمانی است *(Catford, 1988)*.

۳-۲- جمع‌آوری، ضبط و تحلیل آکوستیکی و آماری داده‌ها

روش کار در تحقیق حاضر چنین است که پس از جمع‌آوری داده‌های موردنظر، واژه‌های انتخاب‌شده، توسط گویندگان تولید و ضبط گردیده و سپس با استفاده از نرم‌افزار **PRAAT** سیگنال زمانی، تحلیل حوزهٔ بسامدی و طیف‌نگاشت مربوط به هریک از آنها استخراج می‌گردند. در بررسی آکوستیکی داده‌ها در مرحلهٔ اوّل، نشانه‌های مرزی موجود در سیگنال آوایی، مانند تشخیص حضور واکه‌ها، غلت‌ها، انسدادی‌ها و سایشی‌ها که درواقع نشانه‌های مستقل از اندام‌های گویایی فعّال هستند، تشخیص داده می‌شوند. در مرحلهٔ دوم، نشانه‌های آکوستیکی وابسته به اندام گویایی فعّال که در بخش ۳-۱-۲بیان شد، شناسایی و مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار می‌گیرند. در مرحلهٔ آخر، این نشانه‌های آکوستیکی با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا مشخّصه‌های آکوستیکی مربوطه به اندام‌های گویای فعّال استخراج گردند یعنی هر گرهٔ مربوط به درخت مشخّصه یک واج (شکل ۱) با یک تعریف آکوستیکی همبسته گردد. مراحل مربوط به روش تحقیق مذکور در زیر توضیح داده شده است.

۳-۲-۱- جمع‌آوری داده‌ها

در این بخش به نحوهٔ جمع‌آوری، ثبت و ضبط داده‌های مورد بررسی و تحلیل، و خصوصیات آنها می‌پردازیم. ازآنجایی‌که برای رسیدن به هدف اصلی تحقیق حاضر لازم است تا محیط‌های آکوستیکی مربوط به مشخّصه‌های مستقل و وابسته به اندام‌های گویایی فعّال در گویش فارسی تهرانی شناسایی گردند، داده‌ها باید به‌صورت هدفمند انتخاب گردند.

نظام هجایی زبان فارسی از سه الگوی **CV**، **CVC** و **CVCC** تشکیل یافته است. داده‌های انتخاب‌شده جهت تحقیق حاضر از دو هجای **CV** و **VC** می‌باشند. با وجود ۲۳ همخوان و شش واکه در فارسی، ۱۳۸ هجای **CV** و ۱۳۸ هجای **VC** وجود دارد. به‌ازای هر یک از ۲۷۶ هجای هدف **CV** و **VC** چهار کلمه انتخاب شدند. تمامی هجاها در کلمات انتخاب شده در موضع تکیه‌بر قرار داشتند. به‌علاوه تمامی هجاهای هدف **CV** و **VC** از درون الگوی هجایی **CVC** یا **CVCC** انتخاب و سعی شد که **C** و **V** به‌حتم درون یک هجا باشند. همچنین، در هجاهای انتخابی سعی شد که از واژه‌های معنادار زبان فارسی استفاده شود تا هنگام ضبط کلمات، طبیعی‌بودن گفتار حفظ شود. همچنین در بسیاری از واژه‌های چندهجایی انتخاب شده، بیش از یک هجا یا دادهٔ هجایی قابل تحلیل وجود دارد؛ به‌عنوان مثال در واژهٔ «پر» **/par/** دو هجای **/pa/** و **/ar/** وجود دارد؛ علاوه‌بر ۱۱۰۴ کلمه مربوط به کلیهٔ ۲۷۶ هجای **CV** و **VC**، شش واکهٔ زبان فارسی نیز به‌طور جداگانه ضبط و تحلیل شدند تا هنگامی‌که در بافت **CV** و **VC** قرار گرفته و تحت تأثیر همخوان‌های مجاور قرار می‌گیرند، مبنای مقایسهٔ مطلقی داشته باشیم.

۳-۲-۲- ضبط داده‌ها

داده‌ها پس از انتخاب، با صدای ۲۰ گوینده در یک اتاق آرام با استفاده از رایانهٔ شخصی مجهز به کارت صوتی **Creative**

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-06]

X-Fi Sound Blaster و میکروفون SHURE SM58 و با استفاده از نرم‌افزار Creative Wave Studio 7 به‌صورت مونو ضبط شدند. کلمات هدف به‌صورت یک فهرست واژگانی بدون آن‌که درون جمله قرار داده شوند به شرکت‌کنندگان ارائه و از آنها خواسته شد کلمات را به‌صورت طبیعی و با نرخ سرعت معمولی گفتار تولید کنند. شرکت‌کنندگان همگی گویشور بومی زبان فارسی با گویش معیار با فاصلهٔ سنی ۲۰ تا ۳۵ بودند. شرکت‌کنندگان همگی مرد و دانشجو یا فارغ‌التحصیل دانشگاه امام خمینی بودند و هیچ یک از آنها از هدف تحقیق اطّلاع نداشتند. سرعت نمونه‌برداری سیگنال‌های آوایی پیوسته، ۱۶۰۰۰ نمونه در ثانیه بوده و دامنهٔ موج صوتی نیز با تعداد سطوح ۱۶ بیتی (۶۵۵۳۶ سطح) کوانتومی شده است. پهنای باند بسامدی طیف‌نگاشت‌ها از صفر تا هشت کیلوهرتز می‌باشد.

پس از ضبط داده‌ها، تمامی هجاهای هدف از سیگنال آوایی کلمات تولید شده تقطیع و استخراج شدند. برای تعیین مرز هجاها در زنجیره‌های آوایی مورد نظر از الگوهای تقطیع هجایی لوییس و تاتام *(Lewis and Tatham, 2001)* پیروی شده است. هجاهای هدف پس از استخراج با استفاده از نرم‌افزار PRAAT مورد تحلیل آکوستیکی قرار گرفتند.

۳-۲-۳- تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این بخش به تجزیه و تحلیل آکوستیکی داده‌های ضبط‌شده می‌پردازیم. ابتدا واکه‌ها و سپس همخوان‌های زبان فارسی شامل همخوان‌های سایشی، انسدادی، انسدادی سایشی، خیشومی و روان و درنهایت غلت‌ها بررسی می‌گردند. هدف این بخش آن است که فضای آکوستیکی هریک از واج‌ها را از روی نشانه‌های تعریف‌شده در بخش ۳-۱ تحلیل تا بتوانیم همبسته‌های آکوستیکی هریک از گره‌های موجود در نمودار درختی مشخّصه‌ها را استخراج نماییم.

۳-۲-۳-۱- تجزیه و تحلیل آکوستیکی واکه‌ها

ازآنجایی‌که واج‌های غیرواکه‌ای در دو بافت CV و VC بررسی می‌شوند لازم است تا ابتدا واکه‌های فارسی به طور مستقل توصیف و تحلیل شوند تا هنگام مجاورت با یک همخوان، تأثیرات مربوطه بهتر تحلیل گردند. در (جدول ۱) میانگین نتایج مربوط به بررسی سازه‌های اوّل تا سوم واکه‌های فارسی ارائه شده است.

از نتایج (جدول ۱) دیده می‌شود که دو سازهٔ اوّل و دوم می‌توانند نشانه‌های مطمئنی برای تشخیص واکه‌ها باشند. در واکه‌های پیشین /i/، /e/ و /a/ اختلاف میان F1 و F2 زیاد و در واکه‌های پسین /u/، /o/ و /ɑ/ این اختلاف کم است که البته این اختلاف نمی‌تواند به عنوان نشانه مطرح باشد زیرا برای واکه‌های پسین تقریباً یکسان است. همچنین سازهٔ سوم F3 نیز نمی‌تواند نشانهٔ دقیقی برای واکه‌ها باشد، امّا برای بررسی همخوان /r/ مفید است و به همین دلیل بررسی شده است.

(جدول ۱): میانگین سازه‌های اوّل، دوم و سوم واکه‌های فارسی

واکه	F1(Hz)	F2(Hz)	F3(Hz)
i	۲۵۰	۲۳۰۰	۳۴۰۰
e	۵۰۰	۲۰۵۰	۲۷۰۰
a	۷۰۰	۱۴۰۰	۲۲۰۰
u	۳۵۰	۷۰۰	۲۵۰۰
o	۴۰۰	۷۵۰	۲۵۰۰
ɑ	۶۰۰	۹۵۰	۲۵۰۰

۳-۲-۳-۲- تجزیه و تحلیل آکوستیکی همخوان‌ها

در این بخش به بررسی همخوان‌های فارسی می‌پردازیم. با پی بردن به مشخصه‌های مستقل از اندام‌های گویای فعال از روی نقاط مرزی، همخوان‌ها را به دو گروه رسا و نارسا تقسیم می‌کنیم و متعاقباً همخوان‌های نارسا به سایشی‌ها، انسدادی‌ها و انسدادی- سایشی‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند. همخوان‌های رسا نیز شامل خیشومی‌ها و روان‌ها می‌باشند.

همخوان‌های رسا: در این بخش به بررسی مشخصه‌های آکوستیکی همخوان‌های رسا می‌پردازیم.

سایشی‌ها: همان‌گونه که در بخش ۳-۱-۲ گفته شد، مهم‌ترین همبستهٔ محل تولید همخوان‌های سایشی در بخش ایستان، هم قبل و هم بعد از واکه، حدّاقل بسامد دارای شدّت انرژی بیشینه است. در مورد سایشی‌های لبی /f/ و /v/ ملاحظه می‌شود که توزیع انرژی بر روی همهٔ بسامدهای زیر ۴ کیلوهرتز، تاحدودی یکنواخت و بالای آن بسیار کم است.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-06]

(جدول ۲): میانگین نتایج F (حدّاقل بسامد دارای شدّت انرژی) برای سایشی‌های تیغه‌ای فارسی

		s	z	ʃ	ʒ
میانگین F در بافتهای CV و VC (کیلو هرتز)	i	۴	۳/۵	۲/۵	۲/۵
	e	۴	۳/۵	۲/۵	۲/۵
	a	۴	۲/۸	۲/۵	۲/۲
	u	۳	۳	۱/۸	۲/۲
	o	۲/۷	۲/۲	۱/۸	۲/۴
	ɑ	۴	۳/۵	۲/۵	۲/۵
میانگین تقریبی		۳/۸	۳/۳	۲/۳	۲/۴
انرژی در بسامدهای پایین		ندارد	دارد	ندارد	دارد

در طیف‌نگاشت /v/ بسامدهای پایین دارای شدّت انرژی زیادتری هستند که به‌خاطر واکداری آن می‌باشد. در (جدول ۲) میانگین نتایج مربوط به حداقل بسامد دارای شدت انرژی برای سایشی‌های تیغه‌ای در مجاورت واکه‌ها در دو بافت **CV** و **VC** نشان داده شده است.

در فارسی یک سایشی بدنه‌ای /χ/ داریم. میانگین نتایج حاصل از بررسی /χ/ در محیط‌های **CV** و **VC** در (جدول ۳) آورده شده است.

(جدول ۳): میانگین نتایج F (کیلوهرتز) برای سایشی بدنه‌ای فارسی

	i	e	a	u	o	ɑ	میانگین
F	۱/۵	۱/۸	۱	۱	۱	۱	۱/۸

انسدادی‌ها: با توجه به نشانه‌های ذکرشده در بخش ۳-۱-۲ درخصوص همخوان‌های انسدادی، میانگین نتایج بررسی‌شده مربوط به نشانه‌های رهش در (جدول ۴) نشان داده شده است.

در (جداول ۵ و ۶) نیز میانگین نتایج بررسی متغیرهای **F10** (بسامد **F1** در اولین تناوب چاکنایی)، **F20** (بسامد **F2** در اولین تناوب چاکنایی) و **ΔF2** به‌عنوان نشانه‌های آکوستیکی همخوان‌های انسدادی واکدار در بافت **CV** و **VC** ارائه گردیده است. نتایج (جدول ۵) نشان می‌دهد که انسدادی‌های /b/ و /ɢ/ در مجاورت تمامی واکه‌ها در بافت **CV** باعث می‌شوند که **ΔF2** صعودی باشد.

(جدول ۴): میانگین نتایج بررسی انسدادی‌ها با نشانه‌های مربوط به رهش

	p	b	t	d	k	g	ɢ
Av-Ahi	۲۰	۲۳	۲۴	۲۲	۲۴	۲۳	۲۵
Ahi-A23	-۸	-۹	-۸	-۶	-۹	-۷	-۹
Av-maxA23	۱۰	۱۷	۱۵	۱۸	۱۶	۲۳	۱۲

انسدادی /g/ در مجاورت تمامی واکه‌ها موجب نزولی شدن **ΔF2** می‌شود. واج /d/ در مجاورت دو واکهٔ /i/ و /e/ دارای صعودی و در مجاورت بقیهٔ واکه‌ها دارای نزولی است. از نظر سازه‌ها و گذر واکه، دو واج /b/ و /ɢ/ شباهت بسیار زیادی به هم دارند.

با بررسی سه نشانهٔ مذکور در (جدول ۴) در مورد تمام انسدادی‌ها می‌توان تا حدّ قابل قبولی این واج‌ها را از یکدیگر متمایز ساخت. همچنین باید به این نکته اشاره کنیم که در انسدادی‌ها و سایشی‌ها، به‌طور معمول جفت بی‌واک دارای کشش بیشتری در بافت **CV** می‌باشد و در بافت **VC** نیز در مجاورت انسدادی‌های واکدار، زمان کشش واکه تا بست همخوان بیشتر از جفت بی‌واک است.

(جدول ۵): میانگین نتایج بررسی سه نشانهٔ F10، F20 و ΔF2 برای انسدادی‌های واکدار در بافت CV

		b	d	g	ɢ
F10 (Hz)	i	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰	۲۵۰
	e	۵۰۰	۵۰۰	۴۰۰	۴۰۰
	a	۶۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۶۰۰
	u	۲۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۲۰۰
	o	۳۰۰	۲۶۰	۲۰۰	۲۰۰
	ɑ	۵۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰
F20 (Hz)	i	۲۱۰۰	۲۰۰۰	۲۴۰۰	۲۱۰۰
	e	۱۹۵۰	۱۹۰۰	۲۲۰۰	۱۷۰۰
	a	۱۲۰۰	۱۸۰۰	۲۰۰۰	۱۲۰۰
	u	۵۰۰	۱۶۰۰	۱۰۰۰	۶۰۰
	o	۷۰۰	۱۵۰۰	۹۰۰	۷۰۰
	ɑ	۸۰۰	۱۶۰۰	۱۲۰۰	۹۰۰
Δ F2 (Hz)	i	۵۰	۱۵۰	-۲۰۰	۲۰۰
	e	۱۰۰	۱۰۰	-۲۵۰	۱۰۰
	a	۱۵۰	-۱۰۰	-۲۰۰	۱۵۰
	u	۲۰۰	-۵۰۰	-۲۰۰	۱۰۰
	o	۱۰۰	-۲۰۰	-۲۰۰	۱۰۰
	ɑ	۱۰۰	-۵۰۰	-۲۰۰	۱۰۰

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-06]

(جدول ۶): میانگین نتایج بررسی سه نشانهٔ F10، F20 و ΔF2 برای انسدادی‌های واکدار در بافت VC

		b	d	g	G
F10 (Hz)	i	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۴۰۰
	e	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۶۰۰
	a	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰	۷۰۰
	u	۳۰۰	۴۰۰	۳۰۰	۴۰۰
	o	۵۰۰	۵۰۰	۶۰۰	۵۰۰
	ɑ	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰
F20 (Hz)	i	۲۲۰۰	۲۲۰۰	۲۴۰۰	۲۲۰۰
	e	۱۸۰۰	۱۸۰۰	۲۰۰۰	۱۹۰۰
	a	۱۵۰۰	۱۶۰۰	۱۴۰۰	۱۵۰۰
	u	۷۰۰	۸۰۰	-	۸۰۰
	o	۹۰۰	۹۰۰	-	۱۰۰۰
	ɑ	۱۰۰۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰
Δ F2 (Hz)	i	-۴۰۰	-۲۰۰	۴۰۰	-۳۰۰
	e	-۳۰۰	-۲۰۰	۳۰۰	-۳۰۰
	a	-۲۰۰	۱۰۰	۲۰۰	-۱۰۰
	u	-۱۰۰	۶۰۰	۲۰۰	-۲۰۰
	o	-۲۰۰	۶۰۰	۴۰۰	-۲۰۰
	ɑ	-۲۰۰	۶۰۰	۴۰۰	-۱۰۰

در همخوان‌های انسدادی، زمان شروع واک می‌تواند به‌عنوان یک نشانه باشد و آن زمانی است که رهش صورت می‌گیرد و واک آغاز می‌شود. در زبان فارسی، انسدادی‌های بی‌واک دارای زمان شروع واک مثبت و انسدادی‌های واکدار دارای زمان شروع واک منفی است یعنی رهش واج و شروع واک هم‌زمان صورت می‌گیرد.

انسدادی- سایشی‌ها: رفتار همخوان‌های انسدادی-سایشی در بافت‌های **CV** و **VC** از نظر تاثیر بر روی واکه‌های مجاور همانند رفتار انسدادی‌ها و نیز سایشی‌های تیغه‌ای است. در ضمن، طول زمان سایش در جفت واکدار یعنی /dʒ/ و حدود ۵۰ میلی ثانیه کمتر از /tʃ/ است.

همخوان‌های رسا: همخوان‌های رسا شامل خیشومی‌ها و روان می‌باشند که به بررسی هر دسته می‌پردازیم.

خیشومی‌ها: در بررسی خیشومی‌ها یعنی /m/ و /n/ در دو بافت **CV** و **VC** نکتهٔ بسیار جالب توجه آن است که در مجاورت واکه‌های ممکن در این بافت، رفتار /m/، در تأثیری که روی واکه‌های مجاور از نظر سازه‌ها و گذرسازه‌ای می‌گذارد، بسیار شبیه به همخوان‌های نارسای لبی می‌باشد و نیز رفتار /n/ نیز در این خصوص شبیه به همخوان‌های نارسای تیغه‌ای است. تمام این شواهد مؤید آن است که هر مشخّصهٔ وابسته به اندام‌های گویایی فعّال، همبسته‌های آکوستیکی خود را دارد. با بررسی انجام شده بر روی خیشومی‌ها از نظر مشخّصهٔ ضدسازه که در بخش ۳-۱-۲ معرّفی گردید، به این نتیجه می‌رسیم که همخوان خیشومی /m/ در حدود ۷۰۰ هرتز مابین **F1** و **F2** دارای ضدّسازه است امّا خیشومی /n/ در حدود ۱۳۰۰ هرتز و مابین سازه‌های **F2** و **F3** دارای ضدسازه است. گذرسازه‌ای **ΔF3** که توسط زو (۱۹۸۹) مطرح شده است، به‌عنوان نشانه‌ای مناسب می‌باشد؛ امّا در مجاورت واکه /i/ رفتار /m/ و /n/ بسیار شبیه هم می‌شود.

همخوان‌های روان: روان /l/ از نظر آکوستیکی بسیار شبیه به خیشومی‌ها و به‌خصوص /n/ می‌باشد. همان‌طورکه در بخش ۳-۱-۲ عنوان شد تفاوت روان /l/ با خیشومی‌ها در تعداد سازه‌های زیر ۳۰۰۰ هرتز است. با بررسی طیف‌نگاشت مربوط به روان کناری /l/ می‌بینیم که تعداد سازه‌های زیر ۳۰۰۰ هرتز در آن سه تا است درحالی‌که این تعداد در خیشومی‌ها چهار تا است.

با مشاهدهٔ طیف‌نگاشت مربوط به روان /r/ می‌بینیم که سازه‌های دوم و سوم بسیار به هم نزدیک هستند. در بررسی این روان در دو بافت **CV** و **VC**، این نشانه بسیار واضح است که سازه‌های /r/ خود را به سازه‌های واکهٔ مجاور نزدیک می‌کنند، امّا چون **F3** مربوط به /r/ کم است، این گذر بسیار سریع بوده و دارای شیب زیادی است که این شیب بستگی به **F3** واکهٔ مجاور دارد. میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده سازه‌های این همخوان ۳۰۰، ۱۶۰۰ و ۱۸۰۰ هرتز است.

در (جدول ۷) میانگین این مقادیر و گذرسازه‌ای **ΔF** و **ΔF3** در دو بافت **CV** و **CV** نشان داده شده است.

با بررسی نتایج (جدول ۷) می‌بینیم که /r/ در مجاورت واکه‌های پیشین /i/، /e/ و /a/ دارای جهت شیب موافق و در مجاورت واکه‌های پسین /u/، /o/ و /ɑ/ دارای جهت شیب موافق است؛ به عبارت دیگر، در بافت **CV**، دو سازهٔ **F2** و **F3** از هم دور می‌شوند و در بافت **VC** به یکدیگر نزدیک می‌گردند.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-06]

(جدول ۷): میانگین مقادیر سازه‌های همخوان /r/ و گذرهای سازه‌ای ΔF2 و ΔF3در دو بافت CV و VC

				بافت CV		بافت VC	
	F1	F2	F3	ΔF2	ΔF3	ΔF2	ΔF3
i	۳۰۰	۱۴۰۰	۱۸۰۰	۱۰۰۰	۱۸۰۰	-۱۰۰۰	-۱۸۰۰
e	۳۰۰	۱۵۰۰	۱۸۰۰	۵۰۰	۹۰۰	-۵۰۰	-۹۰۰
a	۴۰۰	۱۵۰۰	۱۸۰۰	۱۰۰	۴۰۰	-۱۰۰	-۴۰۰
u	۳۰۰	۱۴۰۰	۱۸۰۰	-۵۰۰	۷۰۰	۵۰۰	-۷۰۰
o	۳۰۰	۱۵۰۰	۱۸۰۰	-۲۰۰	۷۰۰	۴۰۰	-۷۰۰
ɑ	۳۰۰	۱۵۰۰	۱۸۰۰	-۳۰۰	۷۰۰	۳۰۰	-۷۰۰

۳-۲-۳-۳- تجزیه و تحلیل آکوستیکی غلت‌ها

با بررسی طیف‌نگاشت‌های مربوط به غلت /ʔ/ می‌بینیم که در بافت **CV** رهش بسیار کوتاه این غلت بلافاصله به واکهٔ بعدی خود گذر می‌کند و سازه‌های واکهٔ بعدی هیچ‌گونه خمیدگی و تغییری نمی‌یابند که این عدم تغییر سازه‌ای و به‌عبارت دیگر **ΔF1** و **ΔF2** مساوی صفر، می‌تواند به‌عنوان همبستهٔ آکوستیکی این غلت باشد. در بررسی غلت **/h/** می‌بینیم که این واج دارای هیچ الگوی سازه‌ای نمی‌باشد و درواقع سازه‌های مربوط به واکه‌های مجاور خود را دریافت می‌کند و به‌طور معمول به دلیل اتصال به واکهٔ بعدی در بافت **CV** در بسامدهای پایین دارای دامنه می‌باشد و هنگامی که میان دو واکه قرار می‌گیرد، واسطهٔ گذرسازه‌های دو واکهٔ می‌گردد. این نشانه یعنی وجود تغییرهای سازه‌ای که نشان از دو واکهٔ کنار هم دارد، نشانه‌ای برای حضور غلت **/h/** در میان این دو واکه است، زیرا در نظام هجایی فارسی امکان حضور دو واکه در مجاورت هم چه در یک هجا و چه بیش از یک هجا وجود ندارد. همان‌گونه که در بخش ۳-۱-۲ ذکر شد، در بافت **CV** رفتار غلت **/j/** ابتدا شبیه واکه **/i/** بوده که پس از رهش به سمت سازه‌های واکه بعد از خود حرک می‌کند به‌عنوان مثال در هجای **/jɑ/**، پس از رهش، **F1** از ۲۰۰ به ۷۰۰ و **F2** از ۲۲۰۰ به ۱۶۰۰ هرتز می‌رسد. در بافت **VC** نیز به صورت سایش دیده می‌شود. به‌عنوان مثال در واژهٔ تک‌هجایی «چای» **/tʃɑj/**، گذرسازه‌ای واکهٔ **/ɑ/** به **/j/** شبیه به **/ʃ/** در فارسی می‌باشد و البته همان‌طور که گفته شد بسیار شبیه به واج آلمانی **/ç/** می‌باشد که البته محل تولید این واج بسیار نزدیک به **/ʃ/** است.

۳-۲-۳-۴- تجزیه و تحلیل آکوستیکی همخوان‌ها جهت استخراج نشانه‌های مربوط به واکداری

با بررسی داده‌های مربوط به همخوان‌ها، می‌بینیم که چندین نشانهٔ مربوط به واکداری وجود دارد. نشانهٔ اوّل مربوط به حضور شدّت انرژی در بسامدهای پایین حدود ۱۵۰-۱۰۰ هرتز است. در تولید انسدادی‌ها در بافت **VC** که به‌طور معمول رهش نداریم؛ این می‌تواند به‌عنوان یک نشانه باشد. نشانه دیگر در این بافت آن است که مدّت زمان کشش واکه در همخوان‌های واکدار چند ده‌میلی‌ثانیه بیش‌تر از جفت بی‌واک می‌باشد. یک نشانهٔ مهم برای واکدار در بافت **CV**، زمان شروع واکه است که در انسدادی‌های بی‌واک این زمان مثبت و در واکدارها این زمان صفر یا منفی می‌باشد. در سایشی‌ها نیز، علاوه‌بر نشانهٔ وجود شدّت انرژی در بسامدهای پایین، نشانهٔ دیگر آن است که حداقل بسامد دارای شدّت انرژی در سایشی‌های بیاک بیشتر از جفت واکدارشان است. همچنین مدت سایش در سایشی بی‌واک به‌طور معمول چند ده‌میلی‌ثانیه بیش‌تر از جفت واکدار است.

۳-۳- نتیجه‌گیری

با توجّه به نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آکوستیکی و آماری داده‌ها در بخش ۳-۲ به این نتیجه می‌رسیم که از روی نشانه‌های آکوستیکی می‌توان مشخّصه‌های وابسته به اندام‌های گویایی فعال و برخی مشخّصه‌های مستقل را که در (شکل ۱) در قالب درخت مشخّصه‌ها ارائه گردید، به دست آورد. همچنین در هر گره از این درخت، طبقه‌ای از واج‌های زبان فارسی قرار می‌گیرند که همبسته‌های آکوستیکی آنها قابل شناسایی می‌باشد و از آنجایی‌که در تولید هر یک از واج‌ها، لایه‌های ریشه، گرفتگی، حفره، اندام گویایی فعال و مشخصه‌های پایانی درگیر می‌باشند و همبسته‌های آکوستیکی هر یک از مشخّصه‌های واجی با توجّه به نشانه‌های آکوستیکی به‌دست آمده به‌راحتی قابل شناسایی است؛ درنهایت به این نتیجه می‌رسیم که با توجّه به منحصر به فرد بودن همبسته‌های آکوستیکی هر یک از واج‌های زبان فارسی که ارائه می‌نماییم، می‌توان واج‌های تشکیل‌دهندهٔ گفتار را از روی سیگنال گفتار بازشناسی نمود. در بخش بعد تحقیق حاضر، به ارائهٔ الگوریتمی جهت بازشناسی واج‌های فارسی از روی همبسته‌های آکوستیکی مربوط به مشخّصه‌های واجی می‌پردازیم.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-06]

۴- ارائهٔ الگوریتم بازشناسی واج‌های فارسی از روی همبسته‌های آکوستیکی مربوط به مشخصه‌های واجی

در این بخش با توجّه به نتایج به‌دست آمده از بخش قبل، سعی خواهیم نمود تا الگوریتمی طراحی نماییم تا با ترکیب نشانه‌های آکوستیکی موجود در یک سیگنال آوایی، مشخصه‌های وابسته به اندام‌های گویایی فعّال و نیز مستقل از آنها را نتیجه دهد. الگوریتم مورد نظر شامل تعدادی پیمانه[1] می‌باشد که به شکل خاصی با یکدیگر مرتبط می‌شوند و هر پیمانه، وظیفهٔ تشخیص یکی از مشخّصه‌ها و یا واج‌ها را به عهده دارد. سیگنال آوایی پس از عبور از هر یک از پیمانه‌ها یکی از مشخصه‌هایش شناسایی می‌شود تا درنهایت با ترکیب این مشخصه‌ها که البته بستگی به بافت دارد، واج مربوطه ارائه می‌گردد. در زیر به‌اجمال وظیفهٔ هر یک از پیمانه ارائه شده است.

پیمانه R: برای تشخیص گرهٔ ریشهٔ درخت مشخصه‌ها که دو خروجی **R+S** و **R-S** را دارد که مربوط به مشخصهٔ [+رسا] و [-رسا] است.

پیمانهٔ C: برای تشخیص واج‌های گرفته که دارای مشخصهٔ واجی [-رسا] و [+پیوسته] یا [-پیوسته] هستند. این پیمانه دارای سه خروجی **CF**، **CP** و یا **CFP** می‌باشد.

پیمانهٔ NL: برای تشخیص خیشومی و روان بودن و واج مربوطه که دارای مشخصهٔ واجی [+رسا] و [+همخوان] هستند.

پیمانه‌های GV: برای تشخیص غلت‌ها و واکه‌ها که دارای مشخصهٔ واجی [+رسا] و [-همخوان] می‌باشند.

پیمانهٔ P: برای تشخیص مشخصه‌های وابستهٔ همخوان‌های [-پیوسته] که همان همخوان‌های انسدادی هستند می‌باشد.

پیمانهٔ F: برای تشخیص مشخصه‌های وابستهٔ همخوان‌های [+پیوسته] که همان همخوان‌های سایشی هستند، می‌باشد.

پیمانهٔ AF: برای تشخیص همخوان‌هایی که هر دو مشخصهٔ [-پیوسته] و [+پیوسته] دارند (انسدادی-سایشی‌ها).

پیمانهٔ V: برای تشخیص نوع واکه

پیمانهٔ Z: برای تشخیص حضور واک در سیگنال که یکی از دو خروجی [+واک] و [-واک] را دارد و به تشخیص جفت واکدار و بی‌واک همخوان‌های گرفته کمک می‌کند.

پیمانهٔ ΔF2: برای تشخیص نوع گذر سازهٔ دوم واکه مجاور همخوان که می‌تواند مثبت، منفی یا صفر باشد. در (شکل ۲)

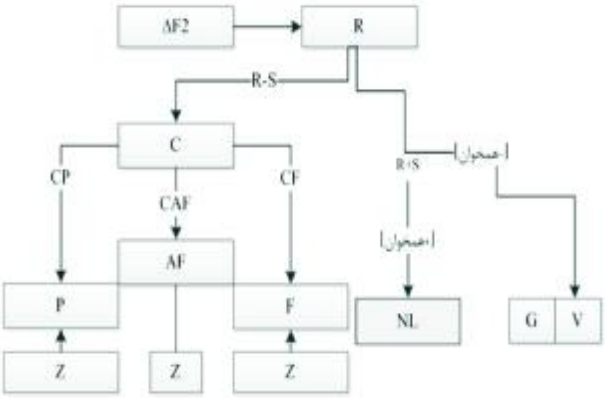
[1] module

نحوهٔ ارتباط پیمانه‌های مذکور با یکدیگر نشان داده شده است.

حال به ارائه جزئیات طراحی هر یک از پیمانه‌ها به‌صورت نمودار گردشی می‌پردازیم.

۴-۱- طراحی پیمانهٔ R

در (شکل ۳) طراحی پیمانهٔ **R** نشان داده شده است.



(شکل ۲): نحوهٔ ارتباط پیمانه‌های الگوریتم بازشناسی واج

خروجی‌های آن دو مشخّصهٔ **R+S** و **R-S** است که **R-S** نشانهٔ همخوان‌های گرفته و **R+S** شامل رساهای غیرهمخوان (واکه‌ها و غلت‌ها) و رساهای همخوان (خیشومی‌ها و روان‌ها) است که به سمت پیمانه‌های واکه (**V**)، غلت (**G**)، (**NL**) و (**C**) هدایت می‌شوند.

۴-۲- طراحی پیمانهٔ G

همان‌طور که گفته شد، این پیمانه برای تشخیص غلت‌ها می‌باشد. در (شکل ۴) نمودار گردشی مربوط به این پیمانه نشان داده شده است. در نمودار گردشی مربوطه اگر دیده می‌شود که اگر واج مربطه **/j/** نباشد لاجرم باید گذرسازه‌های اوّل و دوم صفر باشد که اگر چنین نبود، نمی‌توان گفت که با یک واج مواجهیم، به‌همین دلیل از علامت **?** استفاده شده است.

۴-۳- طراحی پیمانهٔ V

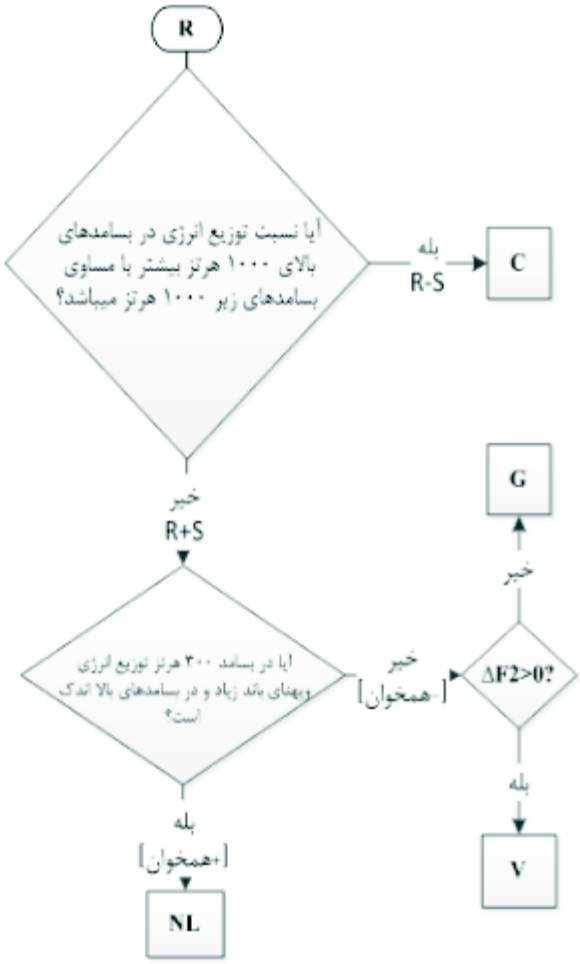
این پیمانه برای تشخیص نوع واکهٔ مجاور همخوان در بافت **CV** یا **VC** می‌باشد. در (شکل ۵) نمودار گردشی مربوطه ارائه شده است. همانطور که دیده می‌شود ابتدا مشخصه افتادگی و افراشتگی استخراج می‌شود که سه حالت می‌تواند داشته باشد(**V1**، **V2** و **V3**). سپس مشخصهٔ پسین و پیشین بودن استخراج می‌گردد که دو حالت دارد. با ترکیب این دو

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-06]

حالت با سه حالت **V1**، **V2** و **V3** شش واکه تعیین می‌گردند.

۴-۴- طراحی پیمانهٔ Z

پیمانهٔ **Z** برای تشخیص حضور واک در همخوان‌های گرفته ([-رسا] و [+همخوان]) استفاده می‌شود که نمودار گردشی مربوطه در (شکل ۶) نشان داده شده است.



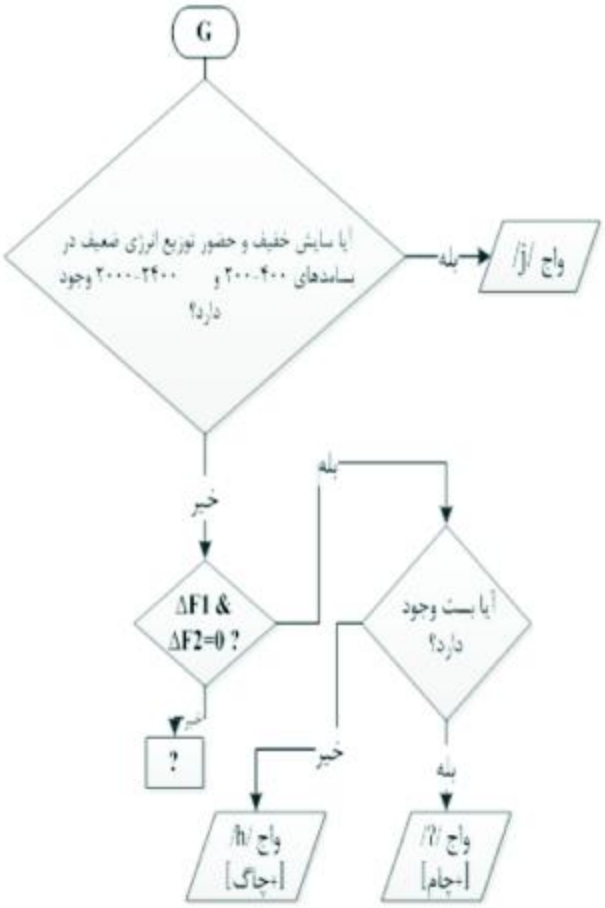
(شکل ۳): نمودار گردشی مربوط به پیمانهٔ R

۴-۵- طراحی پیمانهٔ ΔF2

پیمانهٔ **ΔF2** تعیین می‌کند که گذرسازهٔ دوم مثبت است یا منفی که در دو بافت **CV** و **VC** به تعیین نوع همخوان می‌تواند کمک کند. نمودار گردشی پیمانهٔ مذکور در (شکل ۷) نشان داده شده است.

۴-۶- طراحی پیمانهٔ C

این پیمانه جهت تعیین مشخّصهٔ مستقل [پیوسته] طراحی شده است. نمودار گردشی مربوط به این پیمانه در (شکل ۸) نشان داده شده است. همان‌طور که در این نمودار دیده می‌شود و در (شکل ۲) نیز آورده شد، این پیمانه یکی از سه خروجی **CP**، **CF** یا **CAF** را می‌تواند داشته باشد که به‌ترتیب مربوط به پیمانه‌های تشخیص همخوان انسدادی (**P**)، سایشی(**F**) و انسدادی- سایشی(**AF**) می‌باشند.

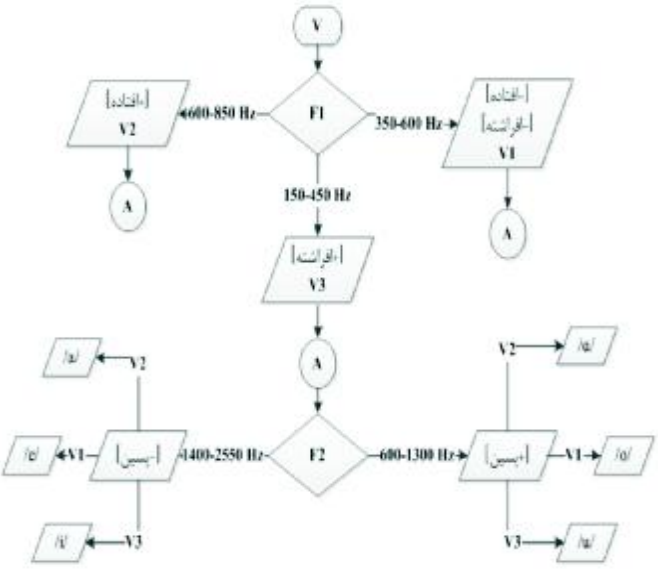


(شکل ۴): نمودار گردشی مربوط به پیمانهٔ G

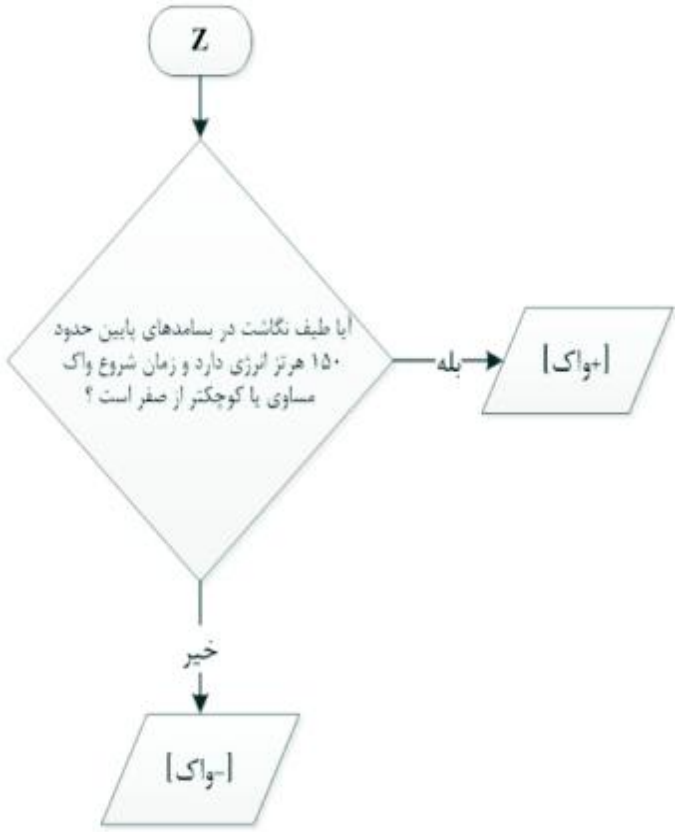
۴-۷- طراحی پیمانهٔ P

نمودار گردشی مربوط به پیمانهٔ **P** که جهت بازشناسی همخوان انسدادی می‌باشد در (شکل ۹) نشان داده شده است. با استفاده از پیمانهٔ **Z** حضور یا عدم حضور واک تشخیص داده می‌شود و بسته به هر یک از حالات، مراحل مربوط به تشخیص انسدادی واکدار و بی‌واک دنبال می‌گردد. در مورد انسدادی‌های واکدار از نشانهٔ گذرسازهٔ دوم (**ΔF2**) که در (جداول ۵ و ۶) عنوان گردید نیز بهره گرفته شده است.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-06]



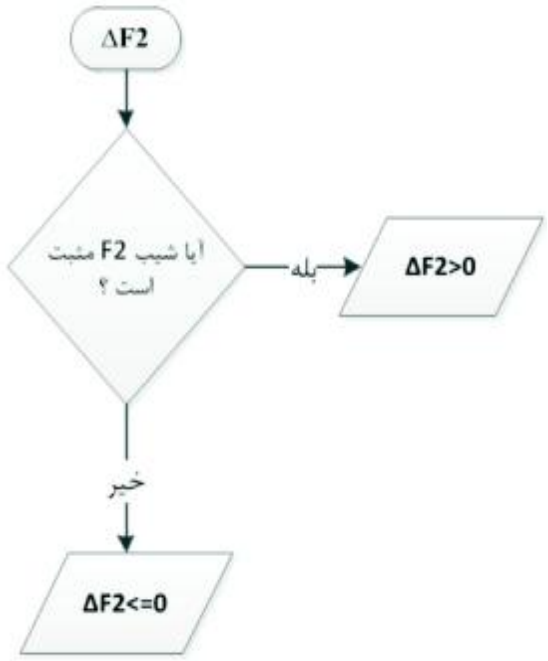
(شکل ۵): نمودار گردشی مربوط به پیمانهٔ V



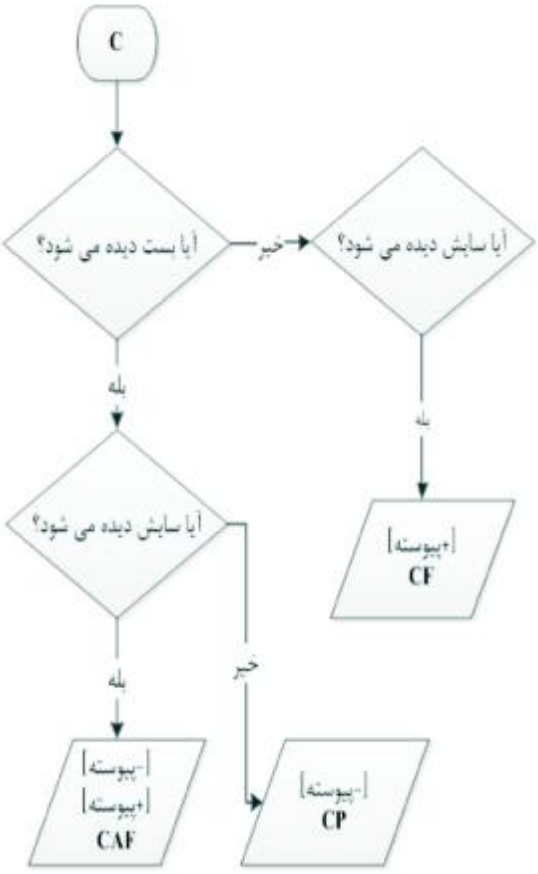
(شکل ۶): نمودار گردشی مربوط به پیمانهٔ Z

۸-۴ طراحی پیمانهٔ F

نمودار گردشی مربوط به پیمانهٔ **F** جهت تشخیص سایشی‌ها در (شکل ۱۰) نشان داده شده است. در این پیمانه نیز از خروجی پیمانهٔ **Z** جهت تشخیص حضور یا عدم حضور واک بهره گرفته می‌شود. همان‌گونه که در (جداول ۲ و ۳) دیدیم



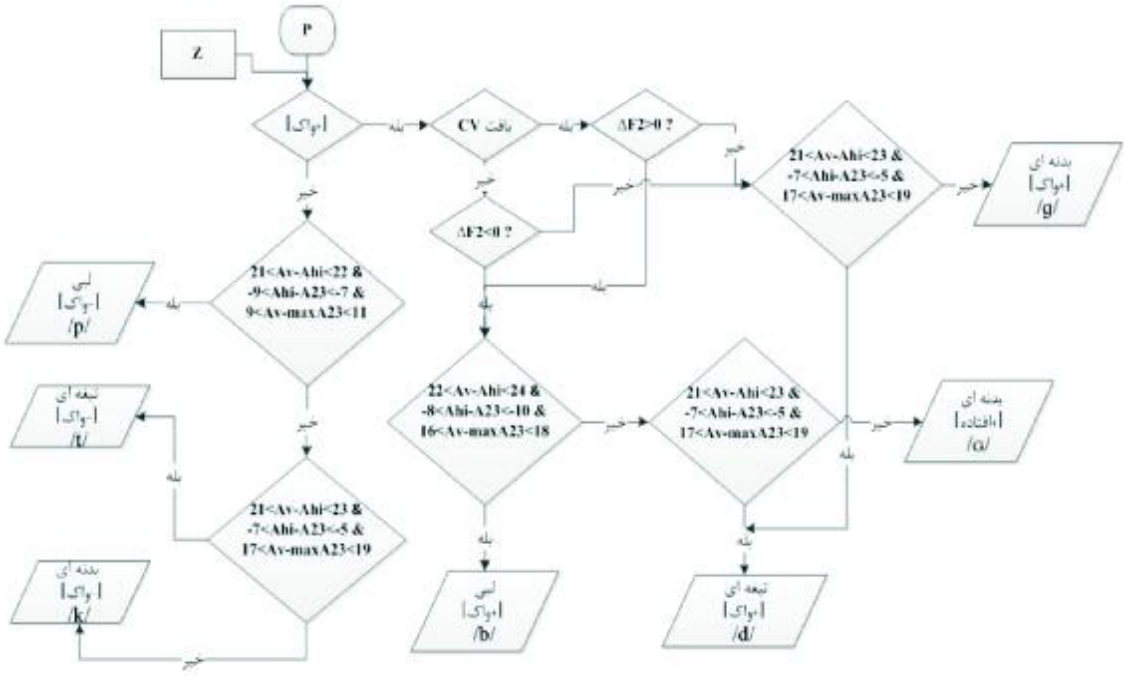
(شکل ۷): نمودار گردشی مربوط به پیمانهٔΔF2



(شکل ۸): نمودار گردشی مربوط به پیمانهٔ C

نشانهٔ اصلی تشخیص نوع همخوان سایشی، حداقل بسامد دارای شدّت انرژی (**F**) می‌باشد.

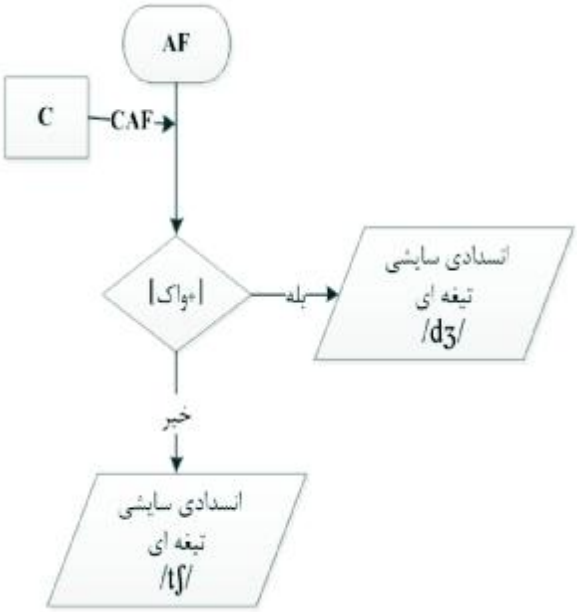
[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-06]



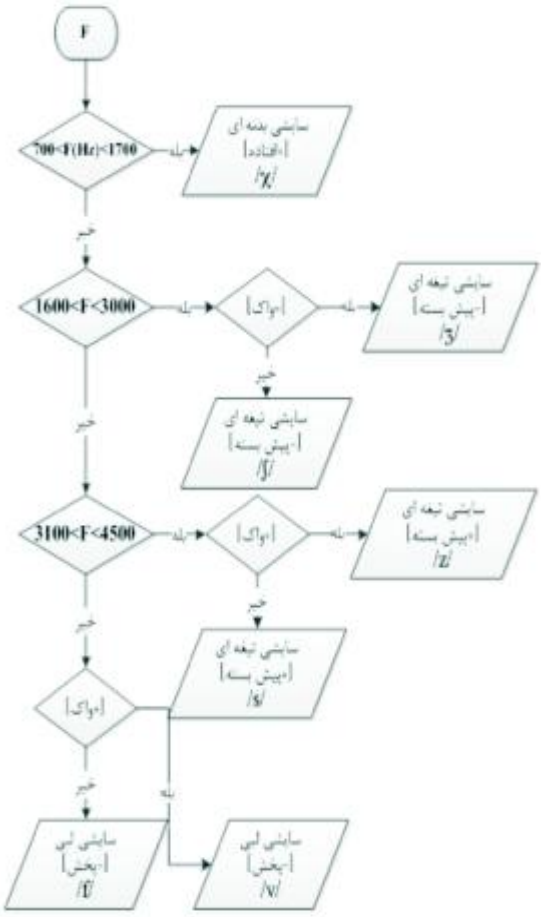
(شکل ۹): نمودار گردشی مربوط به پیمانهٔ P

۴-۹- طراحی پیمانهٔ AF

در (شکل ۱۱) پیمانهٔ **AF** که مربوط به تشخیص همخوان‌های انسدادی سایشی است، نشان داده شده است. در پیمانهٔ **C** دیدیم که اگر خروجی **CAF** را داشته باشیم، به آن معنی است که انسداد و سایش، به‌طور هم‌زمان وجود دارد که مشخّصه‌های مربوط به همخوان‌های انسدادی- سایشی می‌باشد.



(شکل۱۱) نمودار گردشی مربوط به پیمانهٔ AF

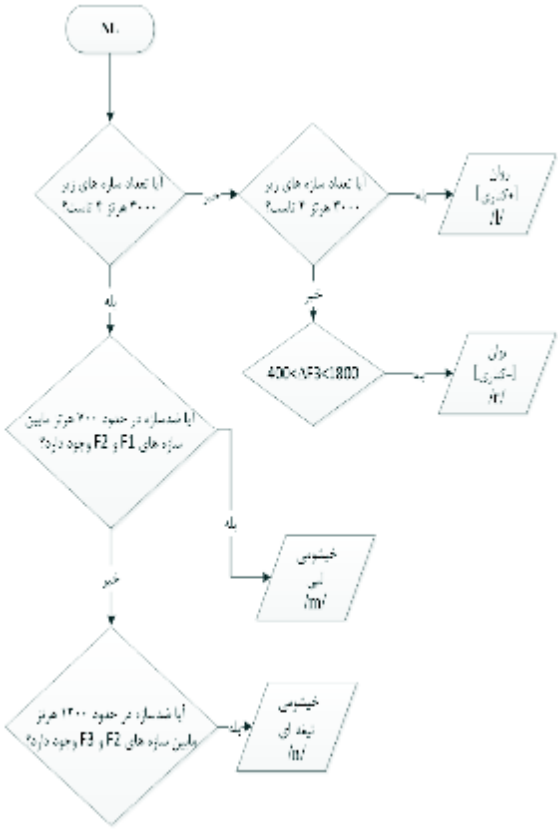


(شکل ۱۰): نمودار گردشی مربوط به پیمانهٔ F

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-06]

۴-۱۰- طراحی پیمانهٔ NL

آخرین پیمانه‌ای که نمودار گردشی مربوط به آن در این بخش در (شکل ۱۲) ارائه گردیده، پیمانهٔ **NL** است که جهت تشخیص همخوان‌های خیشومی و روان طراحی شده است.



(شکل ۱۲): نمودار گردشی مربوط به پیمانهٔ NL

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر نشانه‌های آکوستیکی مشخّصه‌های واجی سازنده مربوط به واج‌های زبان فارسی براساس نظریهٔ آکوستیکی درک گفتار استخراج شده و الگوریتم بازشناسی واج از روی همبسته‌های آکوستیکی مربوط به مشخّصه‌های واجی طراحی گردید. یافتهٔ اصلی این تحقیق آن است که از روی نشانه‌های آکوستیکی می‌توان مشخّصه‌های وابسته به اندام‌های گویایی فعّال و برخی مشخّصه‌های مستقل را به‌دست آورد و به این نتیجه می‌رسیم که با توجّه به منحصربه‌فرد بودن همبسته‌های آکوستیکی هر یک از واج‌های زبان فارسی که ارائه می‌نماییم، می‌توان واج‌های تشکیل‌دهندهٔ گفتار را از روی سیگنال گفتار بازشناسی کرد. یافته‌های تحقیق حاضر می‌تواند کمک قابل توجهی به افزایش سرعت و دقّت سیستم‌های بازشناسی گفتار نماید چراکه اوّل این که از تمامی مشخصه‌های آکوستیکی مرتبط موجود در سیگنال گفتار استفاده می‌شود و دوم این که این نشانه‌های آکوستیکی به دست آمده با دقّت بالایی با مشخّصه‌های واج‌ها همبسته می‌گردند و لذا بازشناسی با دقّت بالاتری عمل می‌نماید و همین‌طور به‌دلیل محدود بودن و هدفمند بودن تعداد همبسته‌های آکوستیکی واج‌ها حجم پردازش‌های آوایی مورد نیاز جهت شناسایی واج در بافت CV و VC نیز تا حدّ قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و طبعاً سرعت پردازش افزایش می‌یابد. به‌دلیل آنکه الگوهای مرجع ارائه شده در تحقیق حاضر وابسته به بافت **CV** و **VC**، تعداد گویشور کم (۲۰ نفر) و جایگاه تکیه‌بر هستند، جهت مستقل کردن نتایج از گوینده و تعمیم قابل قبول الگوهای مرجع پیشنهاد می‌شود که یکی از دو راهکار زیر در تحقیق‌های آتی صورت پذیرد. راهکار اول آن است که به لحاظ بافت، بافت آکوستیکی CC که در هجای **CVCC** قرار دارد مورد بررسی قرار گیرد. تعداد گویشوران افزایش یابد. داده‌های تحقیق حاضر به جایگاه تکیه‌بر محدود شدند که دلیل آن تأثیر زیاد الگوی نوایی گفتار بر روی ویژگی‌های زنجیره‌ای است. داده‌های بافت‌های دیگر مانند جایگاه بدون تکیه نیز می‌توانند در تحقیق دیگری تجزیه و تحلیل گردند. همچنین به‌منظور کامل‌تر شدن نتایج تحقیق و دقیق‌تر شدن قواعد به‌دست‌آمده، می‌توان در تحقیق‌هایی دیگر، گویشورانی با طیف گسترده‌تر به‌لحاظ شرایط جنسیتی، سنی، اجتماعی، تحصیلی و انتخاب کرده و نشانه‌های آکوستیکی معرّفی‌شده در تحقیق را بر روی آنها نیز مورد مطالعه قرار داد. راه‌کار دوم آن است که از منطق فازی در قواعد به‌دست آمده بهره گرفت. نگارندگان امیدوارند که در آینده این بخش را نیز مورد مطالعه و تحقیق قرار دهند تا به قواعد و الگوریتم دقیق‌تر دست یابند.

۶- منابع

بی‌جن‌خان، محمود. ۱۳۷۴. بازنمایی واجی و آوایی زبان فارسی و کاربرد آن در بازشناسی خودکار گفتار، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تهران، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه زبانشناسی.

Fant, G., 1973. Speech sounds and features. Cambridge, MA: MIT Press.

Halle, M., 1992. "Phonological Features". New York. Oxford University Press.

Heyward, Katrina., 2002. Experimental Phonetics. Longman: Pearson Education limited.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-06]

Jakobson, R. G., Fant. G., M. and Halle, M., 1952. Preliminaries to speech Analysis: The distinctive features and their correlates: MIT Press.

Johnson, K., 1997. Acoustic and Auditory Phonetics. The Ohio State University: Black Well.

Kenstowicz, M., 1994. Phonology in Generative Grammar. Cambridge, MA, and Oxford: Blackwell Publishers.

Keyser, S. J., and Stevens, K. N., 1994. Feature Geometry and the Vocal Tract. Phonology II. No 2, 207-236.

Lewis, E., and Tatham, M., 2001. Automatic Segmentation of recorded speech into syllables for speech synthesis. Proceedings of Eurospeech, 01, 1703-1707. Aalborg.

Nearey, T. M., 1992. Context effect in a double-weak theory of speech Perception. Langnage and speech, 5: 19-31.

Nearey, T. M., 1997. speech Perception as pattern recognition. Journal of Acoustic society of America, 2: 187-203.

Rafael, L. J., 2005. Acoustic cues to the perception of segmental phonemes. The Handbook of speech perception. Blackwell publishing.

Stevens, K. N., 1998. Acoustic Phonetics. Cambridge, MA and London: MIT Press.

Stevens, K. N., 2000. From Acoustic Cues to Segments Features and Words. 5 th ICSLP, Vol1, 1-8.

Stevens, K. N,. and Blumstein, L. 1975. Quantal aspects of consonant production and perception: A study of retroflex consonants. Journal of Phonetics, 3: 215-233.

Zue, V. W., 1994. A Tutorial of Spectogram Reading. Spoken Language Laboratory. Cambeidge, MIT.

مسعود شریفی آتشگاه متولد ۱۳۵۳ تحصیلات متوسطه خود را در تهران سپری نمود. وی در سال ۱۳۷۶ در رشتهٔ مهندسی کامپیوتر از دانشگاه صنعتی اصفهان مدرک کارشناسی خود را دریافت نمود و تحصیلات خود را در رشتهٔ زبانشناسی در دانشگاه تهران ادامه داد. او در سال ۱۳۷۹ موفق به اخذ مدرک کارشناسی ارشد گردید و در سال ۱۳۸۸ در مقطع دکترای تخصصی رشتهٔ زبان‌شناسی فارغ‌التحصیل شد. پردازش سیگنال، سنتز و بازشناسی گفتار، پردازش متون، زبان‌شناسی محاسباتی و پیکره‌ای ازجمله سرفصل‌های پژوهشی مورد علاقهٔ وی می‌باشد.

نشانی رایانامک ایشان عبارت است از:

massoud.sharifi@gmail.com

وحید صادقی تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی رشتهٔ آموزش زبان انگلیسی در سال ۱۳۷۶ به پایان رساند. وی در سال ۱۳۷۹ در رشتهٔ زبان‌شناسی در مقطع کارشناسی ارشد از دانشگاه تهران فارغ‌التحصیل شد و در سال ۱۳۸۵ نیز در همان رشته مدرک دکترای خود را از دانشگاه تهران اخذ نمود. حوزهٔ پژوهشی مورد علاقهٔ وی پردازش سیگنال و درک و بازشناسی گفتار است.

نشانی رایانامک ایشان عبارت است از:

vsadeghi5603@gmail.com

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-07-06]