مدل‌سازی بازشناسی واجی کلمات فارسی

وحید صادقی

گروه زبان انگلیسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

چکیده

در این مقاله مدلی برای درک و بازشناسی کلمات زبان فارسی ارائه شده است. مدل پیشنهادی مبتنی بر نظریه‌ی صوت‌شناختی درک گفتار است. اساس این نظریه، در بازنمود آوایی هر واحد زبانی، مجموعه‌ای از الگوهای صوت‌شناختی به‌عنوان الگوهای آوایی مرجع، ذخیره می‌شوند و درک آن واحد از طریق انطباق الگوهای صوت‌شناختی درون‌داد با الگوهای آوایی مرجع در بازنمایی آوایی صورت می‌گیرد. انگاره‌ی پیشنهادی برای درک و بازشناسی بازنمود آوایی و واجی کلمات از ترکیب مدل المان و مک کللند [۱] تحت عنوان "اثر" و مدل بورسما [۲] تحت عنوان "دستور ادراکی و دستور بازشناسی" است.

واژه‌های کلیدی: بهینگی، دستور ادراکی و بازشناسی، الگوهای آوایی مرجع، محدودیت‌های صوت‌شناختی و واجی

۱- مقدمه

در این مقاله، به مدل‌سازی درک و بازشناسی خودکار کلمات زبان فارسی می‌پردازیم. مدلی که در این مقاله برای بازشناسی کلمات ارائه می‌شود، تلفیقی از مدل *المان و مک‌کللند* [۱] تحت عنوان "اثر" و مدل *بورسما* [۲] تحت عنوان "دستور ادراکی و دستور بازشناسی" است. در این مدل، برای بازشناسی کلمات، رشته علائم صوت شناختی گفتار به m قالب زمانی به طول n میلی ثانیه تقسیم شده است، به‌طوری‌که بین هر دو قالب زمانی به اندازه‌ی s میلی ثانیه هم‌پوشی زمانی وجود دارد. از نظر آواشناسی، هر قالب زمانی تظاهر صوت‌شناختی یکی از سه مرحله‌ی آغازه، اوج و پایانه‌ی یک بستار تولیدی است. این مدل شامل سه لایه‌ی واحدیاب است:

۱)لایه‌ی مشخّصه‌یاب

۲)لایه‌ی واج‌یاب

۳)لایه‌ی کلمه‌یاب

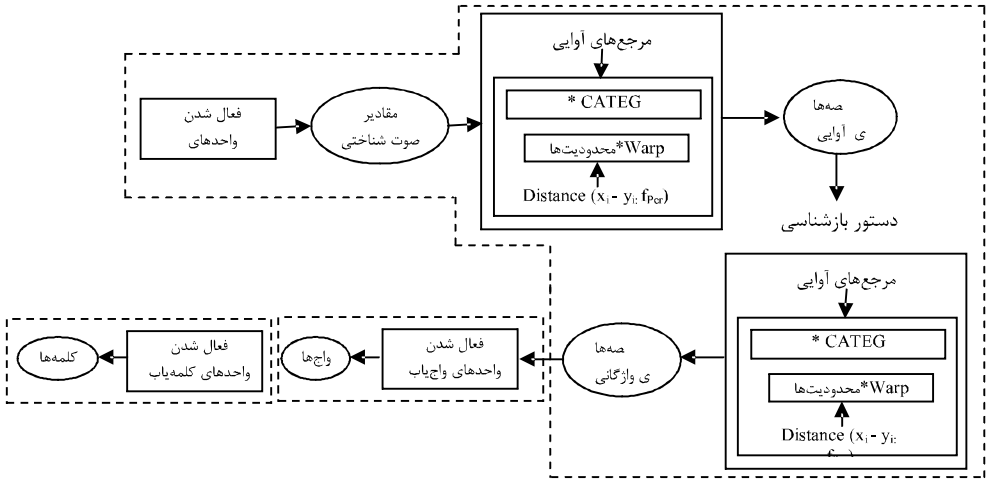
شکل(۱) فرآیند بازشناسی کلمه را در لایه‌های آوایی موردنظر بر اساس مدل پیشنهادی نگارنده نشان می‌دهد.

درون‌داد مدل، امواج صوتی حاصل از فعالیت دستگاه گفتار است. امواج صوتی، مطابق شکل، ابتدا وارد لایه‌ی مشخّصه‌یاب می‌شود، لایه‌ی مشخّصه‌یاب، امواج صوتی را طی مراحل زیر به مشخّصه‌های واجی تبدیل می‌کند:

مرحله‌ی اول: برای هر قالب زمانی در علامت گفتاری، مجموعه‌ای از واحدهای مشخّصه‌یاب فعال می‌شوند. با فعّال شدن هر واحد مشخّصه‌یاب، مقدار x_i برای پارامتر صوت‌شناختی متناظر با واحد مشخّصه‌یاب به‌دست می‌آید.

مرحله‌ی دوم: در این مرحله، شنونده مقادیر پارامترهای صوت‌شناختی را با استفاده از دستور ادراکی به مشخّصه‌های آوایی (ادراکی) دوارزشی تبدیل می‌کند. برای این منظور، وی از دو دسته محدودیت صوت‌شناختی استفاده می‌کند: محدودیت‌های CATEG* و محدودیت‌های WARP* محدودیت‌های CATEG* به‌طورکلی، درک مقادیر مختلف یک پارامتر صوت‌شناختی را به‌صورت مشخّصه‌های آوایی متناظر با آن‌ها غیرمجاز می‌دانند.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-08-23]



شکل (۱)- فرآیند بازشناسی کلمه در انگاره‌ی پیشنهادی نگارنده

به‌عبارت دیگر، محدودیت‌های CATEG* اجازه نمی‌دهند مقادیر صوت‌شناختی به‌صورت الگوهای آوایی ناپیوسته درک شوند. از طرف دیگر، مقادیر صوت‌شناختی بر اساس محدودیت Per باید به یک الگوی آوایی در بازنمود ادراکی نگاشته شوند. حال، سؤال این است که اگر برای درک مشخّصه‌ی آوایی f درک x_i به‌صورت y_i، x_j به‌صورت y_j، x_z به‌صورت y_z و ... براساس محدودیت‌های CATEG* غیرمجاز باشد، درآن‌صورت، مشخّصه‌ی f درنهایت چگونه درک می‌شود. برای این‌منظور از دستور واج‌شناسی بهینگی استفاده می‌کنیم. در این دستور، نحوه‌ی آرایش محدودیت‌ها با یکدیگر متفاوت است. اگر y_i که x_i به آن نگاشته می‌شود، یک الگوی آوایی مرجع باشد؛ یعنی الگویی که به‌صورت یک مقوله‌ی ادراکی در بازنمود آوایی f افراز شده است، در آن صورت محدودیت CATEG* ناظر بر آن یعنی محدودیتCATEG* (y_i : x_i) کمترین رتبه را در ساخت سلسله مراتبی آرایش محدودیت‌ها دارد و نقض آن جریمه‌ی کمتری را به‌دنبال خواهد داشت؛ درحالی‌که اگر y_i یک الگوی آوایی مرجع نباشد، محدویت ناظر بر درک x_i به‌صورت y_i رتبه‌ی بالایی داشته و نقض آن جریمه‌ی سنگینی به‌همراه خواهد داشت. چون فضای صوت‌شناختی یک فضای پیوسته با مقادیر نامحدود و فضای ادراکی، یک فضای ناپیوسته با مقادیر محدود است؛ بنابراین باید گفت، نقش محدودیت‌های CATEG* مقوله‌بندی مجموعه‌ای از مقادیر پیوسته‌ی صوت‌شناختی به‌صورت تعداد محدودی الگوی آوایی است.

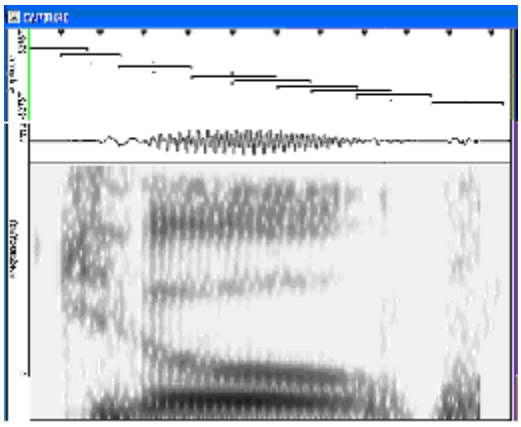
محدودیت‌های WARP* زمانی اعمال می‌شوند که مقدار x از پارامتر صوت‌شناختی متناظر با مشخّصه آوایی f منطبق بر الگوی آوایی مرجع y نیست. در چنین حالتی x باید به‌ناچار به‌صورت یک مرجع آوایی درک شود. این درک تابع محدودیت‌های WARP* است. صورت‌بندی این محدودیت‌ها به‌صورت زیر است:

$$*\text{WARP}\ (f\text{:d}) \Leftrightarrow \exists\, x_i \in f_{ac} \exists\, y_i \in f_{Perc.} \rightarrow |x_i - y_i| < d$$

ac صوت شناختی و perc ادراکی بر اساس این محدودیت‌ها، الگوی آوایی مرجع y از پارامتر ادراکی f نباید به اندازه‌ی هر مقداری از d متفاوت از مقدار x در مابه‌ازای صوت‌شناختی آن پارامتر باشد. به عبارت دیگر، محدودیت‌های WARP* وجود هر گونه فاصله‌ی ادراکی را بین الگوهای آوایی مرجع یک مشخّصه‌ی آوایی و مقادیر صوت‌شناختی آن مشخّصه غیرمجاز می‌دانند. آنچه مهم است، آرایش این محدودیت‌ها نسبت به یکدیگر است؛ به این صورت که هر قدر این فاصله‌ی ادراکی بیشتر باشد، رتبه‌ی محدودیت مربوطه در ساخت سلسله‌مراتبی بالاتر می‌باشد و نقض آن، جریمه‌ی سنگین‌تری به‌همراه خواهد داشت. بنابراین نقش محدودیت‌های WARP*، آن است که مقادیر صوت‌شناختی را با حداقل فاصله‌ی ادراکی به الگوهای آوایی مرجع، یعنی مشخّصه‌های دوارزشی در بازنمود آوایی، بنگارند.

مرحله‌ی سوم: در این مرحله، شنونده با استفاده از دستور بازشناسی، مشخّصه‌های آوایی را به مشخّصه‌های واجی (واژگانی) تبدیل می‌کند. برای این منظور، از محدودیت‌های CATEG* وWARP* واجی استفاده می‌شود. محدودیت‌های CATEG* واجی با توجّه به مرجع‌های واجی، الگوهای آوایی را در بازنمود آوایی کلمات به تعداد کمتری الگوهای واجی در بازنمود واجی (واژگانی) کلمات مقوله‌بندی می‌کنند.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-08-23]



شکل(۲) سیگنال زمانی(بالا) و طیف‌نگاشت(پایین) کلمه‌ی "توپ"

محدودیت‌های WARP* واجی نیز در صورت وجود هر گونه فاصله‌ی ادراکی بین درون‌داد آوایی و مرجع‌های واجی، مشخّصه‌های آوایی را به‌عنوان درون‌داد به الگوی واجی که بیشترین شباهت آوایی ممکن (یا کمترین فاصله‌ی آوایی ممکن) را با آن دارد، می‌نگارند.

پس از استخراج مشخّصه‌های واجی در لایه‌ی مشخّصه‌یاب، این مشخّصه‌ها وارد لایه‌ی واج‌یاب می‌شوند؛ در این لایه، با فعّال شدن هر واحد واج‌یاب برای هر سه تا شش قالب زمانی، درخت واجی هر واج با ترکیب مشخّصه‌ها به‌دست می‌آید. در مرحله‌ی آخر، واج‌ها به‌عنوان درون‌داد، وارد لایه‌ی کلمه‌یاب شده و با ترکیب با یکدیگر، درخت واجی کلمه را به دست می‌دهند.

۲- داده‌های زبانی

در طراحی مدل‌های بازشناسی گفتار، دو مرحله‌ی اساسی وجود دارد:

الف)مرحله‌ی تعیین الگوی آوایی مرجع برای کلمات[1]:

چنان‌که می‌دانیم، بازشناسی واجی کلمه، تابعی از بازشناسی کوچک‌ترین واحدهای واجی، یعنی مشخّصه‌های واجی است؛ بنابراین الگوی آوایی مرجع برای هر کلمه تابعی از الگوی آوایی مرجع مشخّصه‌های واجی سازنده‌ی آن است. الگوی آوایی مرجع هر مشخّصه بر حسب الگوهای صوت‌شناختی و با محاسبه‌ی مقادیر پارامترهای صوت‌شناختی تعیین می‌شود. مرجع آوایی باید به‌گونه‌ای تعیین شوند که تمامی تظاهرات آوایی مشخّصه موردنظر را شامل شود. برای این منظور، هر الگوی مرجع را می‌توان به‌صورت میانگین و پراش *صادقی*، [۴] یا تابع توزیع امکان یک پارامتر صوت‌شناختی *بی‌جن خان*،[۳] به‌دست داد. فرض بر آن است که این مرجع آوایی به نوعی در ذهن اهل زبان بازنمایی می‌شود. همپوشی زمانی- مکانی الگوهای مرجع مشخّصه‌های واجی در بازنمود آوایی، الگوی مرجع واج‌ها و همپوشی زمانی الگوهای مرجع واج‌ها، الگوی مرجع کلمه را به‌دست می‌دهد.

۱- این مرحله در سامانه‌های بازشناسی گفتار، آموزش نام دارد.

ب)مرحله‌ی بازشناسی:

در این مرحله، ساخت آوایی کلمه در فضای صوت‌شناختی به ساخت آوایی کلمه در حوزه‌ی درک شنونده نگاشته شده است و بازنمود واجی کلمه به‌دست می‌آید؛ یعنی ساخت آوایی کلمه در فضای صوت‌شناختی که به‌صورت همپوشی زمانی- مکانی الگوهای آوایی پیوسته است با ساخت آوایی کلمه در ذهن شنونده که به‌صورت همپوشی زمانی-مکانی الگوهای آوایی مرجع است، منطبق شده و الگوی واجی کلمه بازشناسی می‌شود.

نگارنده، الگوی آوایی مرجع برای مشخّصه‌های طبقه‌ی واجی، واکداری- بی‌واکی، محل تولید بستار همخوانی و محل تولید و میزان گرفتگی بستار واکه‌ای را قبلاً با استخراج میانگین و پراش پارامتر یا پارامترهای متناظر با این مشخّصه‌ها به‌دست آورده است. در این مقاله سعی شده است با انتخاب برخی از این پارامترها روش درک و بازشناسی مشخّصه‌های واجی (و سپس واج‌ها و کلمه‌ها) مدل‌سازی شود.

در این بخش، مراحل مختلف بازشناسی واجی کلمه را در مدل پیشنهادی نگارنده برای کلمه‌ی "توپ" نشان می‌دهیم.

۲-۱- لایه‌ی مشخّصه‌یاب

گفتیم که بازشناسی مشخّصه‌های واجی از علامت صوت‌شناختی گفتار در لایه‌ی مشخّصه‌یاب، طی سه مرحله انجام می‌شود:

مرحله‌ی اول:

مقادیر پارامترهای صوت‌شناختی مربوط به هر قالب زمانی تعیین می‌شود. فرض بر آن است که برای هر قالب زمانی، مجموعه‌ای از یک تا چند واحد مشخّصه‌یاب فعال می‌شوند. شکل (۲) علامت گفتاری (قسمت بالا) و طیف‌نگاشت (قسمت پایین) رشته‌ی آوایی [tup] را نشان می‌دهد. به‌طوری که مشاهده می‌شود، این رشته‌ی آوایی به ۱۲ قالب زمانی تقسیم شده است؛ طول هر قالب زمانی ۲۵

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-08-23]

میلی‌ثانیه است. بین هر دو قالب زمانی به اندازه‌ی ۱۲/۵ میلی‌ثانیه همپوشی زمانی وجود دارد. این همپوشی زمانی ناظر بر هم‌پوشی بستارهای تولیدی هنگام فعالیت دستگاه گفتار است. حال برای هر قالب زمانی، مجموعه‌ای از واحدهای مشخّصه‌یاب را جهت بازشناسی مشخّصه‌های واجی فعّال می‌کنیم. در این تحقیق از پارامتر کشش نوفه‌ی رهش به‌عنوان واحد مشخّصه‌یاب واکداری- بی‌واکی استفاده شده است؛ این پارامتر ناظر بر مدّت زمان بازماندن چاکنای از لحظه‌ی باز شدن بست تا لحظه‌ی شروع تناوب چاکنایی برای واکه‌ی بعد می‌باشد و مرجعی مناسب برای مقایسه‌ی تقابل واکداری- بی‌واکی همخوان‌های انسدادی بی‌واک نادمیده، بی‌واک دمیده و واکدار است *لده‌فوگد* و مدیسون[۵]، (۱۹۹۶: ۴۵). همچنین از همین پارامتر به‌عنوان واحد مشخّصه‌یاب محل تولید استفاده شده است. تقابل محل تولید همخوان‌های انسدادی از نظر پارامتر آوایی کشش نوفه‌ی رهش تظاهر آوایی دارد، یعنی فاصله‌ی زمانی میان لحظه‌ی باز شدن بست انفجاری و لحظه‌ی شروع ارتعاش تارآواها برای واکه در بستارهای تولیدی مختلف به‌طور معنی‌داری با یکدیگر تفاوت دارد؛ به این صورت که متوسط کشش نوفه‌ی رهش در بستارهای لبی کم، در بستارهای تیغه‌ای، در یک سطح میانی و در بستارهای بدنه‌ای زیاد است؛ *لده‌فوگد* و چو، [۶]چو، *جان* و *لده‌فوگد*، [۷].

به علاوه، پارامتر نرخ تقاطع صفر و انرژی به‌هنجار را به‌عنوان واحد مشخّصه‌یاب طبقه آوایی (گره‌ی ریشه در هندسه مشخّصه‌ها) و پارامترهای F1 و F2 را به ترتیب به‌عنوان واحدهای مشخّصه‌یاب سطح مقطع گرفتگی و محلّ تولید بدنه‌ی زبان مورد استفاده قرار داده‌ایم.

مرحله‌ی دوم:

در مرحله‌ی دوم، نحوه‌ی نگاشت مقادیر پیوسته‌ی صوت‌شناختی بر مشخّصه‌های ناپیوسته‌ی (دوارزشی) آوایی مدل‌سازی می‌شود. این مدل‌سازی توسط دستور ادراکی صورت می‌گیرد. قبلاً گفتیم که دستور ادراکی شامل دو نوع محدودیت است: محدودیت‌های CATEG* و محدودیت‌های WARP*. درک مقادیر صوت‌شناختی به‌صورت مشخّصه‌های آوایی تابعی از میزان نقض محدودیت‌های CATEG* وWARP* با توجّه به نحوه‌ی آرایش این محدودیت‌ها نسبت به یکدیگر است.

در این بخش می‌خواهیم روش درک مقادیر NOT، F1 و F2، نرخ تقاطع صفر و انرژی به‌هنجار را به‌صورت مشخّصه‌های آوایی متناظرشان در بازنمود آوایی با استفاده از دستور ادراکی توضیح دهیم. ابتدا این روش را برای مشخّصه‌های دمش و واک توضیح می‌دهیم.

۲-۱-۱- مدل‌سازی درک مشخّصه‌های دمش و واک

در رشته‌ی آوایی [tup] مقدار کشش نوفه‌ی رهش برای قالب‌های زمانی اوّل، دوم و سوم، [42ms] است. می‌خواهیم درک شنیداری مقدار [42ms] را به‌صورت مقادیر ناپیوسته (+ یا -) مشخّصه‌های آوایی [واک] و [دمیده] در چارچوب دستور ادراکی مدل‌سازی کنیم. برای این منظور گام‌های زیر را انجام می‌دهیم:

گام اول: تعیین محدودیت‌های CATEG*

محدودیت‌های CATEG* بر این واقعیت اساسی استوار هستند که به ازای هر مقدار صوت‌شناختی x از مشخّصه‌ی آوایی *f* یک الگوی آوایی y در بازنمود آوایی وجود دارد به‌طوری که درک x به‌صورت y بر اساس محدودیت CATEG* (*f*: y, x)غیرمجاز است.

حال فرض می‌کنیم برای مقدار [42ms] الگوی آوایی /42ms/ در سطح بازنمود آوایی وجود دارد. محدودیت ناظر بر درک این مقدار به‌صورت الگوی آوایی /42ms/ عبارت است از ([42ms] :/42ms/) CATEG*صادقی[۴]. فضای آوایی، واکداری- بی‌واکی و دمش را برای هر طبقه از همخوان‌های انسدادی به سه ناحیه افراز می‌کند؛ به‌طوری که هر ناحیه یکی از گونه‌های [واک] و[دمیده] را نشان می‌دهد. میانگین به‌دست آمده، کشش نوفه‌ی رهش برای انسدادی‌های تیغه‌ای بی‌واک دمیده، بی‌واک نادمیده و واکدار به ترتیب 42ms، 18ms و 9ms است. بر این اساس می‌توان فرض کرد که انسدادی‌های تیغه‌ای بی‌واک دمیده، بی‌واک نادمیده و واکدار به ترتیب به‌صورت الگوهای ادراکی /9ms/،/18ms/،/47ms/ در حوزه‌ی درک شنونده افراز شده‌اند. این الگوها، الگوهای آوایی مرجع برای درک مقادیر مختلف پارامتر کشش نوفه‌ی رهش به‌حساب می‌آیند. حال فرض کنیم مقدار x [47ms] ، [18ms] و [9ms] باشد، در آن صورت محدودیت‌های ناظر بر درک این مقادیر به‌صورت الگوهای آوایی /47ms/، /18ms/ ،/9ms/ عبارتند از:

*CATEG :(/18ms /: [18ms] , *CATEG : /47ms/: [47ms 18])

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-08-23]

و([18ms/: [18ms]) *CATEG گفتیم که اگر x کاملاً منطبق بر یک الگوی آوایی مرجع باشد، در آن صورت محدودیت مربوطه، پایین‌ترین رتبه را در میان سایر محدودیت‌ها دارد و نقض آن‌ها جریمه‌ی کمتری را به‌دنبال خواهد داشت. بر این اساس سه محدودیت اخیر نسبت به محدودیت اوّل در جدول بهینگی رتبه‌ی پایین‌تری خواهند داشت.

گام دوّم: تعیین محدودیت‌های WARP*

در مثال داده شده، مقدار x از پارامتر کشش نوفه‌ی رهش ۴۲ میلی ثانیه است. چون برای مقدار [42ms] یک الگوی آوایی مرجع در حوزه‌ی درک گفتار شنونده وجود ندارد، بنابراین، این مقدار باید به‌صورت یکی از الگوهای آوایی مرجع /47ms/، /18ms/، /9ms/ درک شود. اگر مبنا را تنها محدودیت‌های CATEG* قرار دهیم در آن صورت هر سه الگوی آوایی مورد نظر به یک اندازه شانس انتخاب شدن به‌عنوان الگوی آوایی مرجع برای مقدار [42ms] را دارند؛ زیرا محدودیت‌های ناظر بر الگوهای آوایی مرجع در انتهای ساخت سلسله‌مراتبی محدودیت‌ها قرار می‌گیرند و آرایش آن‌ها نسبت به یکدیگر آزاد است. این در حالی است که هر مقدار از یک پارامتر صوت‌شناختی، هر بار تنها می‌تواند به‌صورت یک الگوی آوایی مرجع درک شود و درک آن به‌طور همزمان به‌صورت سه الگوی آوایی مجاز نیست. بنابراین برای اجتناب از این مشکل اساسی به محدودیت‌های دیگری نیاز داریم که محدودیت‌های WARP* نام دارند.

محدودیت‌های WARP*: محدودیت‌های WARP* مبتنی بر این واقعیت اساسی هستند که اگر مقدار x از یک پارامتر صوت‌شناختی بر یک الگوی آوایی مرجع در حوزه‌ی درک شنونده منطبق نگردد، در آن صورت این مقدار با حداقل فاصله‌ی ادراکی جذب نزدیک‌ترین الگوی آوایی مرجع می‌شود. در مثال داده شده مقدار x، [42ms] است. این مقدار با هیچ یک از الگوهای آوایی مرجع /47ms/، /18ms/، /9ms/ مطابقت ندارد، بنابراین باید جذب یکی از آن‌ها شود. این جذب تابع محدودیت‌های WARP* است. برای مقدار [42ms] با توجه به سه مرجع /47ms/، /18ms/، 9ms/ سه محدودیت WARP* وجود دارد. این محدودیت‌ها عبارتند از:

*Warp ([42ms]: /47ms/)
*Warp ([42ms]: /18ms/)
*Warp ([42ms]: /9ms/)

این محدودیت‌ها به ترتیب نگاشت [42ms] را به الگوهای مرجع /47ms/، /18ms/، /9ms/ غیرمجاز می‌دانند.

به عبارت دیگر، محدودیت‌های مورد نظر به ترتیب درک یک انسدادی تیغه‌ای با کشش نوفه‌ی رهش [42ms] را به‌صورت بی‌واک دمیده، بی‌واک نادمیده و واکدار غیرمجاز می‌دانند. امّا آنچه بسیار اهمیّت دارد آرایش این محدودیت‌ها نسبت به یکدیگر است. این آرایش با توجّه به فاصله‌ی ادراکی بین [42ms] و الگوهای مرجع موردنظر به‌صورت زیر است:

*Warp([42ms]: /9ms/) ≥ *Warp([42ms]: /18ms/) ≥*Warp([42ms]: /47ms/)

جدول(۱) نحوه‌ی درک کشش نوفه‌ی رهش [42ms] را به‌صورت الگوی آوایی مرجع /47ms/ نشان می‌دهد:

[42ms]	Per	*CATEG Others	*Warp ([42ms]:/9ms/)	*Warp ([42ms]:/18ms/)	*Warp ([42ms]:/47 ms/)	*C(47ms) *C(18ms) *C(9ms)
/42ms/		*				*
/47ms/					*	*
/18ms/				*		
/9ms/			*			*
nothing	*					

محدودیت Per در این جدول نشان می‌دهد که مقدار x از پارامتر کشش نوفه‌ی رهش باید به‌صورت یک الگوی آوایی درک شود، در غیر این صورت با حداکثر جریمه‌ی ممکن مواجه خواهد شد.

در این جدول، *CATEG([42 ms] : /42 ms/) با توجه به این که کشش نوفه‌ی رهش [42ms] ، یک الگوی آوایی مرجع در نظام واجی زبان فارسی نیست، رتبه‌ی بسیار بالایی دارد، بنابراین گزینه‌ی /42ms/ با نقض این محدودیت، پس از nothing بیشترین جریمه را گرفته است. گزینه‌های /47ms/، /18ms/ و /9 ms/ با نقض‌محدودیت‌های*CATEG مربوطه اگرچه جریمه شده‌اند، امّا جریمه‌ی‌شان به علّت پایین بودن رتبه‌ی این محدودیت‌ها که ناشی از مرجع بودن الگوهای آوایی موردنظر است، بسیار کم است. از میان این سه گزینه، /47ms/ به‌عنوان گزینه‌ی بهینه، انتخاب شده است. علّت آن، این است که رتبه‌ی(/47ms/)WARP* در این جدول به دلیل فاصله‌ی ادراکی بسیار کم، بین درون‌داد [42ms] و مرجع /ms47/، پایین‌تر از (/18ms/)WARP* و (/9ms/)WARP* است. بنابراین نقض آن برای گزینه‌ی /47ms/ جریمه‌ی کمتری را در مقایسه با /18ms/ و /9ms/

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-08-23]

که محدودیت‌های رتبه‌ی بالاتر(/18ms/)WARP* و (/9ms/)WARP* را نقض کرده‌اند، به‌همراه دارد.

حال همین مراحل را برای قالب‌های زمانی یازدهم و دوازدهم انجام می‌دهیم. مقدار کشش نوفه‌ی رهش برای این قالب‌های زمانی ۱۳ میلی ثانیه است. برای مقدار [13ms] یک محدودیت CATEG* وجود دارد که درک آن را به‌صورت الگوی ادراکی /13ms/ غیرمجاز می‌داند:

*CATEG([42ms]: /42ms/)

حال با استناد به نتایج آزمون آماری صادقی [۴] در مورد واکداری- بی‌واکی همخوان‌های انسدادی، فرض می‌کنیم، نظام آوایی زبان فارسی، مقولات آوایی بی‌واک دمیده، بی‌واک نادمیده و واکدار را در انسدادی‌های لبی، به‌ترتیب به‌صورت الگوهای آوایی مرجع /34ms/، /15ms/، /7ms/ در حوزه‌ی درک گفتار شنونده منطبق می‌سازد. بر این اساس محدودیت‌های ناظر بر درک مقادیر [34ms] ، [15ms] و [7ms] به‌صورت الگوهای مرجع/34ms/، /15ms/ ، /7ms/ را به صورت:

*CATEG (/15ms/: [15ms]) , *CATEG (/34ms/: [34ms])
و *CATEG (/7ms/: [7ms]) صورت‌بندی می‌کنیم. این سه محدودیت نسبت به محدودیت اوّل، رتبه‌ی پایین‌تری دارند، زیرا مقادیر درون‌داد را بر الگوهای آوایی مرجع می‌نگارند.

چون برای مقدار [13ms] یک الگوی آوایی مرجع در حوزه‌ی درک گفتار شنونده وجود ندارد، بنابراین، این مقدار باید بر اساس محدودیت‌های WARP* به‌صورت یکی از الگوهای آوایی مرجع /34ms/، /15ms/ ، /7ms/ درک شود. برای مقدار [13ms] با توجّه به سه مرجع /34ms/، /15ms/ ، /7ms/ سه محدودیت WARP* وجود دارد. این محدودیت‌ها به ترتیب نگاشت کشش نوفه‌ی رهش [13ms] را به الگوهای مرجع /34ms/، /15ms/ ، /7ms/ غیرمجاز می‌دانند. آرایش این محدودیت‌ها با توجّه به فاصله‌ی ادراکی میان مقدار [13ms] و الگوهای مرجع موردنظر به‌صورت زیر است:

*Warp([13ms]: /34ms/) ≥ *Warp([13ms]: /7ms/)
≥*Warp([13ms]: /15ms/)

با توجّه به این آرایش، وقتی کشش نوفه‌ی رهش یک همخوان انسدادی لبی 13ms باشد، این همخوان احتمالاً به‌صورت گونه‌ی بی‌واک نادمیده، شنیده می‌شود.

۲-۱-۲- مدل‌سازی درک مشخّصه محل تولید بر اساس پارامتر NOT

در این بخش می‌خواهیم توضیح دهیم که چگونه مقادیر پیوسته‌ی پارامتر کشش نوفه‌ی رهش در حوزه درک گفتار به‌صورت مشخّصه‌های آوایی [لبی]، [تیغه‌ای]، [بدنه‌ای] درک می‌شوند.

در رشته‌ی آوایی [tup] مقدار کشش نوفه‌ی رهش برای [t] در قالب‌های زمانی اوّل، دوم و سوم در مجموع 42ms است. می‌خواهیم درک شنیداری مقدار [42ms] را به‌صورت الگوهای آوایی لبی، تیغه‌ای یا بدنه‌ای در چارچوب دستور ادراکی مدل‌سازی می‌کنیم. برای انجام این کار گام‌های زیر را انجام می‌دهیم:

گام اول: تعیین محدودیت های CATEG*

برای مقدار [42ms] یک الگوی آوایی /42ms/ در سطح بازنمود آوایی وجود دارد. محدودیتی که درک [42ms]را به‌صورت /42ms/ غیرمجاز می‌داند، *CATEG (/ms42/: [42ms]) است. حال فرض می‌کنیم که انسدادی‌های بی‌واک دمیده لبی، تیغه‌ای و بدنه‌ای به ترتیب به‌صورت الگوهای ادراکی /34ms/، /47ms/، /65ms/ در حوزه‌ی درک شنونده افراز شده‌اند [۴]، این الگوها الگوهای آوایی مرجع برای درک مقادیر مختلف پارامتر کشش نوفه‌ی رهش هستند. بنابراین اگر مقدار x منطبق بر این الگوها باشد در آن صورت محدودیت مربوطه پایین‌ترین رتبه را در میان سایر محدودیت‌ها داشته و نقض آن جریمه‌ی کمتری را به دنبال خواهد داشت:

*CATEG /34 ms/: [34ms])
*CATEG /42 ms/: 42ms])≥ *CATEG /47 ms/: [47ms])
*CATEG /65 ms/: [65ms])

اگر این محدودیت‌ها را با آرایش فوق در جدول بهینگی قرار دهیم و /4ms/، /47ms/، /65ms/ را به‌عنوان گزینه‌های احتمالی برای درون‌داد در نظر بگیریم، در آن صورت هر سه گزینه به یک اندازه شانس انتخاب شدن به‌عنوان برون‌داد بهینه برای درون‌داد موردنظر را دارند؛ زیرا محدودیت‌های ناظر بر آن‌ها نسبت به یکدیگر آرایش آزاد دارند. این در حالی است که دستور باید تنها یکی را به‌عنوان برون‌داد بهینه انتخاب کند.

گام دوّم: تعیین محدودیت های WARP*

محدودیت‌های WARP* ناظر بر این واقعیت هستند که مقدار x از یک پارامتر صوت‌شناختی باید جذب الگویی شود

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-08-23]

که بیشترین شباهت آوایی ممکن را با آن دارد. برای مقدار [42ms] با توجّه به الگوهای مرجع/34ms/، /47ms/، /65ms/ سه محدودیت WARP* وجود دارد:

*WARP (/42 ms/: [34 ms])
*WARP (/42 ms/: [47ms])
*WARP (/42 ms/: [65 ms])

این محدودیت‌ها به‌ترتیب درک کشش نوفه‌ی رهش [42ms] را به‌صورت الگوهای ادراکی /34ms/، /47ms/، /65ms/ غیرمجاز می‌دانند. چون شباهت آوایی بین [42ms] و/47ms/ بیشتر از شباهت آوایی بین [42ms] و /34ms/ و مورد اخیر بیشتر از شباهت بین [42ms] و /65ms/ است، بنابراین آرایش محدودیت‌های مربوطه به‌صورت زیر خواهد بود:

*Warp([42ms]: /47ms/) ≥ *Warp([42ms]: /34ms/)
≥*Warp([42ms]: /65ms/)

با توجّه به این آرایش، کشش نوفه‌ی رهش [42ms] درجدول بهینگی به‌صورت انسدادی بی‌واک دمیده‌ی تیغه‌ای (/47 ms/) درک خواهد شد.

حال همین مراحل را برای قالب‌های زمانی یازدهم و دوازدهم انجام می‌دهیم. مقدار کشش نوفه‌ی رهش در مجموع این دو قالب زمانی ۱۳ میلی‌ثانیه است. با استناد به نتایج آماری صادقی [۴] فرض می‌کنیم انسدادی‌های بی‌واک نادمیده‌ی لبی، تیغه‌ای و بدنه‌ای به ترتیب به‌صورت الگوهای ادراکی/15ms/، /18ms/، /24ms/ در حوزه‌ی درک شنونده افراز شده‌اند. مقدار [13ms] بر هیچ یک از این الگوهایی آوایی مرجع منطبق نیست، بنابراین باید بر اساس محدودیت‌های WARP* بر یکی از آن‌ها نگاشته شود. با توجه به فاصله‌ی ادراکی میان [13ms] و الگوی مرجع /15ms/، محدودیت (/15ms/ :[13ms]) Warp* در مقایسه با سایر محدودیت‌های WARP* رتبه‌ی کمتری داشته و نقض آن جریمه‌ی کمتری خواهد داشت.

*Warp([12ms]: /24ms/) ≥ *Warp([13ms]: /18ms/)
≥*Warp([13ms]: /15ms/)

این آرایش نشان می‌دهد که اگر مقدار کشش نوفه‌ی رهش یک همخوان انسدادی لبی نادمیده‌ی 13ms است، این همخوان احتمالاً به‌صورت یک همخوان لبی درک می‌شود.

۲-۱-۳- مدل‌سازی درک مشخّصه‌ی میزان گرفتگی و محل تولید بستارهای واکه‌ای

فاصله‌ی ادراکی بین، واکه‌ها یک معیار آوایی است که میزان تقابل واجی بین آن‌ها را نشان می‌دهد. فرض بر آن است که پارامترهای F1 و F2 تخمین خوبی از میزان فاصله‌ی ادراکی بین واکه‌ها در فضای آواشناختی به دست می‌دهند. در این قسمت با استفاده از پارامترهای F1 و F2 درباره‌ی نحوه‌ی درک مشخّصه‌های میزان گرفتگی و محل تولید بستارهای واکه‌ای در فضای آواشناختی واکه‌ها بحث می‌کنیم.

پارامتر F1 ناظر بر متغیر مسیر ارتفاع یا سطح مقطع گرفتگی بدنه‌ی زبان و پارامتر F2 ناظر بر متغیر مسیر محل تولید بدنه‌ی زبان است. با بررسی میانگین تقریبی F1 و F2 برای تعداد زیادی از واکه‌ها در کلمات فارس‌دات، نگارنده چنین فرض می‌کند که پارامتر ارتفاع زبان در حوزه‌ی درک شنونده به سه ناحیه ادراکی /۲۵۰ هرتز/، /۴۵۰ هرتز/ و /۷۵۰ هرتز/ افراز شده است به‌طوری‌که /۲۵۰ هرتز/ الگوی آوایی مرجع واکه‌های افراشته؛ /۴۵۰ هرتز/ الگوی آوایی مرجع واکه‌های نیمه‌افراشته و /۷۵۰ هرتز/ الگوی آوایی مرجع واکه‌های افتاده است. همچنین، فرض می‌کنیم که فضای ادراکی پارامتر F2 به دو ناحیه‌ی ادراکی /۱۸۵۰ هرتز/ و /۸۵۰ هرتز/ افراز شده است که ناحیه‌ی ادراکی /۱۸۵۰ هرتز/ متناظر با واکه‌های پیشین و ناحیه‌ی ادراکی /۸۵۰ هرتز/ متناظر با واکه‌های پسین است.

برای [u] در [tup] مقدار F1 و F2 در قالب زمانی ششم و هفتم به‌ترتیب ۲۲۰ و ۷۰۰ هرتز است. ابتدا نحوه‌ی نگاشت مقدار[۲۲۰ هرتز] را به ناحیه‌ی ادراکی /۲۵۰ هرتز/ و درک مشخّصه‌ی آوایی [+ افراشته] را از قالب زمانی ششم و هفتم توضیح می‌دهیم. برای این منظور گام‌های زیر را انجام می‌دهیم:

گام اول: تعیین محدودیت‌های CATEG*

برای مقدار [۲۲۰ هرتز] یک محدودیت CATEG* وجود دارد که درک این مقدار را به‌صورت الگوی آوایی متناظر با آن در بازنمود آوایی یعنی /۲۲۰ هرتز/ غیرمجاز می‌داند: (/۲۲۰ هرتز/ :[۲۲۰ هرتز] CATEG*). همچنین، محدودیت‌های (/۲۵۰ هرتز/) CATEG*، /۴۵۰ هرتز/) CATEG* و (/۷۵۰ هرتز/) CATEG* به ترتیب ناظر بر درک مقادیر [۲۵۰ هرتز]، [۴۵۰ هرتز] و [۷۵۰ هرتز] به‌صورت الگوهای آوایی مرجع /۲۵۰ هرتز/، /۴۵۰ هرتز/ و /۷۵۰ هرتز/ هستند. چون مقادیر [۲۵۰ هرتز]، [۴۵۰ هرتز] و [۷۵۰ هرتز] ناظر بر الگوهای آوایی مرجع و مقدار [۲۲۰ هرتز] ناظر بر الگوی آوایی غیرمرجع است، بنابراین سه محدودیت CATEG* اخیر نسبت به محدودیت اول رتبه‌ی پایین‌تری دارند.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-08-23]

گام دوم: تعیین محدودیت‌های WARP*

برای مقدار[۲۲۰ هرتز] با توجه به الگوهای آوایی مرجع /۲۵۰ هرتز/، /۴۵۰ هرتز/ و /۷۵۰ هرتز/ سه محدودیت WARP* وجود دارد. این محدودیت‌ها به ترتیب درک سازه‌ی اول ۲۲۰ هرتزی را به‌صورت یک واکه‌ی افراشته (/۲۵۰ هرتز/)، نیمه‌افراشته (/۴۵۰ هرتز/) و افتاده (/۷۵۰ هرتز/) غیرمجاز می‌دانند. این محدودیت‌ها با توجّه به میزان فاصله‌ی ادراکی بین مقدار درون‌داد و الگوهای آوایی مرجع مرتّب می‌شوند. به این ترتیب چون فاصله‌ی مقدار ۲۲۰ هرتز به الگوی مرجع /۲۵۰ هرتز/ نزدیک؛ به /۷۵۰ هرتز/ دور و به /۴۵۰ هرتز/ در یک حدّ میانی است، بنابراین آرایش محدودیت‌های مربوطه به‌صورت زیر خواهد بود:

*Warp([220Hz]: /250 Hz /) ≥ *Warp([220Hz]: /450Hz /) ≥*Warp ([220Hz]: /750 Hz /)

با توجّه به این آرایش و همچنین آرایش محدودیت‌های CATEG*، F1 [۲۲۰هرتز] به‌صورت یک واکه‌ی افراشته درک خواهد شد.

حال می‌خواهیم نحوه‌ی درک مشخّصه‌ی محلّ تولید بستارهای واکه‌ای را در قالب دستور ادراکی مدل‌سازی کنیم.

گام اول: تعیین محدودیت‌های CATEG*

گفتیم که فضای ادراکی پارامتر F2 به دو ناحیه‌ی ادراکی /۱۸۵۰ هرتز/ برای واکه‌های پیشین و /۸۵۰ هرتز/ برای واکه‌های پسین، افراز شده است. برای [u] در [tup] مقدار F2 در قالب زمانی ششم ۷۰۰ هرتز است. به‌ازای مقدار [۷۰۰ هرتز] در دستور ادراکی یک محدودیت CATEG* وجود دارد که درک این مقدار را به‌صورت الگوی آوایی /۷۰۰ هرتز/ در بازنمود آوایی غیرمجاز می‌داند. علاوه‌براین، به‌ازای هر یک از مقادیر [۱۸۵۰ هرتز] ، [۸۵۰ هرتز] یک محدودیت CATEG* وجود دارد که درک مقادیر مربوطه را به‌صورت الگوهای آوایی مرجع /۱۸۵۰ هرتز/ و /۸۵۰ هرتز/ غیرمجاز می‌داند. چون مقادیر [۱۸۵۰ هرتز] ،[۸۵۰ هرتز] ناظر بر الگوهای آوایی مرجع و مقدار[۷۰۰ هرتز] ناظر بر الگوی آوایی غیرمرجع است بنابراین رتبه‌ی دو محدودیت اخیر نسبت به محدودیت اوّل در جدول بهینگی پایین‌تر خواهد بود.

با توجّه به این که برای مقدار [۷۰۰ هرتز] به‌عنوان درون‌داد صوت‌شناختی یک ناحیه‌ی ادراکی وجود ندارد، بنابراین شنونده باید این مقدار را به ناحیه‌ی ادراکی‌که بیشترین شباهت آوایی را با آن دارد نگاشته و مشخّصه محل تولید واکه را درک کند. این فرآیند توسط محدودیت‌های WARP* انجام می‌شود.

گام دوم: تعیین محدودیت‌های WARP*

برای مقدار[۷۰۰ هرتز] با توجّه به الگوهای آوایی مرجع /۱۸۵۰ هرتز/ و /۸۵۰ هرتز/ دو محدودیت WARP* وجود دارد که یکی درک F2 ۷۰۰ هرتزی را به‌صورت یک واکه‌ی پیشین (/۱۸۵۰ هرتز/) و دیگری درک همین سازه را به‌صورت یک واکه‌ی پسین (/۸۵۰ هرتز/) غیرمجاز می‌دانند. آنچه اهمیّت دارد آرایش این دو محدودیت نسبت به یکدیگر است؛ چون شباهت آوایی F2 ۷۰۰ هرتزی به الگوی مرجع /۸۵۰ هرتز/ بیشتر از الگوی مرجع /۱۸۵۰ هرتز/ است بنابراین رتبه‌ی محدودیت WARP* دوم، نسبت به محدودیت WARP* اوّل، پایین‌تر است؛ که این نشان می‌دهد هر واکه‌ای با F2 ۷۰۰هرتز به‌صورت یک واکه‌ی پسین درک می‌شود.

*Warp([700Hz]: /1850Hz /) ≥ *Warp([700Hz]: /850Hz/)

۲-۱-۴- مدل‌سازی درک مشخّصه‌ی ریشه

گره‌ی ریشه در هندسه مشخّصه‌های واجی ناظر بر طبقات واجی زبان است. طبقات عمده‌ی واجی عبارتند از: انسدادی‌ها، سایشی‌ها و رساها. این طبقات واجی بر اساس وضعیت‌های سه‌گانه‌ی آیرودینامیکی در سطوح حفره‌های بازخوانی مرکب تعیین می‌شوند. بر این اساس، طبقه‌ی انسدادی ناظر بر وضعیت انسداد جهاز صوتی، طبقه‌ی سایشی ناظر بر وضعیت نوفه و طبقه‌ی رسا ناظر بر وضعیت تشدید جهاز صوتی است. طبقه‌ی انسدادی را می‌توان با مشخّصه‌های آوایی [+ همخوانی، - پیوسته]؛ طبقه سایشی را با مشخّصه‌های [+ همخوانی، + پیوسته] و رسا را با مشخّصه [+ رسا] نشان داد.

بی‌جن‌خان [۳] برای مقایسه‌ی کمی طبقات واجی زبان فارسی، فضای آوایی را بر حسب دو پارامتر نرخ تقاطع صفر و انرژی به‌هنجار به‌گونه‌ای افراز می‌کند که مرز میان طبقات عمده‌ی واجی در سطح جهاز صوتی تا حد قابل‌قبولی از یکدیگر مشخّص باشند. نرخ تقاطع صفر پارامتر آواشناختی برای وضعیت تشدید جهاز صوتی و انرژی به‌هنجار پارامتر آواشناختی برای وضعیت نوفه‌ی جهاز صوتی است. وی [۳] پراکندگی واج‌های زبان فارسی را بر حسب میانگین میانگین‌های نرخ تقاطع صفر و میانگین میانگین‌های انرژی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-08-23]

به‌هنجار برای چهل گویشور فارسی‌زبان به دست می‌آورد و به این ترتیب فضای واجی را به سه ناحیه افراز می‌کند، به‌طوری‌که هر ناحیه یک طبقه از طبقات عمده‌ی واجی را در سطح جهاز صوتی نشان می‌دهد. میانگین این دو پارامتر برای طبقات واجی انسدادی، سایشی و رسا به‌صورت زیر است:

جدول (۲): میانگین نرخ تقاطع صفر و انرژی بهنجار برای طبقات عمده واجی از دادگان فارس دات (بی جن خان، [۴])

طبقات واجی	نرخ تقاطع صفر	انرژی به‌هنجار
انسدادی	۲۶۲۱	۳۴.۰ dB
سایشی	۳۶۸۹	۲۹.۰ dB
رسا	۱۱۲۷	۱.۱۵ dB

این میانگین‌ها را به‌عنوان الگوی آوایی مرجع برای طبقات واجی موردنظر در نظر می‌گیریم. حال مقادیر این پارامترها را برای قالب‌های زمانی مختلف تعیین می‌کنیم. برای [t] در [tup] مقدار نرخ تقاطع صفر و انرژی به‌هنجار در قالب‌های زمانی اول تا سوم به ترتیب ۲۲۰۹ و ۰/۴۳ dB است. برای [u] در همین رشته‌ی آوایی، مقدار نرخ تقاطع صفر و انرژی به‌هنجار در قالب زمانی ششم و هفتم ۸۵۲ و ۰/۹۱ dB است. برای [p] نیز در رشته‌ی آوایی موردنظر مقدار نرخ تقاطع صفر و انرژی به‌هنجار در قالب‌های زمانی یازدهم و دوازدهم ۲۸۱۵ و ۰/۳۸ است. می‌خواهیم امکان تعلق قالب‌های زمانی مختلف را به وضعیت‌های سه‌گانه‌ی انسداد، نوفه و تشدید بر اساس دستور ادراکی مدل‌سازی کنیم.

ابتدا پارامتر نرخ تقاطع صفر را در نظر می‌گیریم. برای [t، [u]، p]] مقدار نرخ تقاطع صفر به ترتیب ۲۲۰۹، ۸۵۲ و ۲۸۱۵ است. جداول ۳ و ۴ نحوه‌ی درک مقادیر [۲۲۰۹]و [۲۸۱۵] را به‌صورت طبقه‌ی انسدادی و جدول ۵ نحوه‌ی درک مقدار[۸۵۲] را به‌صورت طبقه‌ی رسا نشان می‌دهد.

در جدول ۳ گزینه‌ی /۲۲۰۹/ با نقض محدودیت (/۲۲۰۹/: [۲۲۰۹]) CATEG* که به علّت مرجع نبودن نرخ تقاطع صفر ۲۲۰۹ رتبه‌ی بسیار بالایی دارد، بیشترین جریمه را گرفته است.

جدول(۳)

[2209]	Per	*CATEG Others	*Warp ([2209]: /3689/)	*Warp ([2209]:/1127/)	*Warp ([2209]:/2621/)	*C(2621) *C(1127) *C(3689)
/3689/			*			*
/1127/				*		*
/2621/					*	*
/2209/		*				
nothing	*					

جدول(۴)

[2815]	Per	*CATEG Others	*Warp ([2209]: /3689/)	*Warp ([2209]:/1127/)	*Warp ([2209]:/2621/)	*C(2621) *C(1127) *C(3689)
/1127/			*			*
/1127/					*	*
/2621/				*		*
/2815/		*				
nothing	*					

جدول(۵)

[852]	Per	*CATEG Others	*Warp ([2209]: /3689/)	*Warp ([2209]:/2621/)	*Warp ([2209]:/1127/)	*C(2621) *C(1127) *C(3689)
/3689/			*			*
/1127/					*	*
/2621/				*		*
/852/		*				
nothing	*					

گزینه‌های /۲۶۲۱/، /۳۶۸۹/ و /۱۱۲۷/ با نقض محدودیت‌های CATEG* مربوطه اگرچه جریمه شده‌اند، امّا جریمه‌ی‌شان به علّت پایین بودن رتبه‌ی این محدودیت‌ها بسیار کم است. از میان این سه گزینه، /۲۶۲۱/ به‌عنوان گزینه‌ی بهینه انتخاب شده است. چون شباهت آوایی نرخ تقاطع صفر [۲۲۰۹] به الگوی مرجع /۲۶۲۱/ بیشتر از الگوهای مرجع /۱۱۲۷/ و /۳۶۸۹/ است، بنابراین رتبه‌ی WARP*([۲۲۰۹]: /۲۶۲۱/) در این جدول پایین‌تر از محدودیت‌های WARP* دیگر است. چون رتبه‌ی این محدودیت پایین است، نقض آن جریمه‌ی کمی را برای /۲۶۲۱/ به‌همراه داشته است. این در حالی است که گزینه‌های /۳۶۸۹/ و /۱۱۲۷/ به‌ترتیب با نقض محدودیت‌های رتبه‌ی بالاتر WARP*([۲۲۰۹] : /۳۶۸۹/)* و WARP*([۲۲۰۹] : /۱۱۲۷/)* جریمه‌ی بیشتری گرفته‌اند. در جدول ۴ نیز /۲۶۲۱/ با رعایت همین موارد به‌عنوان بهترین گزینه برای درک نرخ تقاطع صفر ۲۸۱۵ معرفی شده است.

در جدول (۵) گزینه‌ی /۱۱۲۷/ با توجّه به فاصله‌ی ادراکی کم آن با مقدار درون‌داد ۸۵۲ و نحوه‌ی آرایش محدودیت‌های CATEG* و WARP* مربوطه به‌عنوان گزینه‌ی بهینه برای جذب نرخ تقاطع صفر ۸۵۲ انتخاب شده است.

حال همین مراحل را برای پارامتر انرژی به‌هنجار انجام می‌دهیم. برای [t، [u]، p]] مقدار انرژی به‌هنجار به‌ترتیب ۰/۴۳dB، ۰/۹۱dB و ۰/۳۸ dB است. چنانچه این مقادیر را به‌ترتیب به‌عنوان درون‌داد دستور ادراکی در جداول بهینگی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-08-23]

جداگانه قرار دهیم، انرژی ۰/۴۳dB و ۰/۳۸ dB بر مرجع /۰/۳۴ یا طبقه‌ی انسدادی و انرژی ۰/۹۱ dB بر مرجع /۱/۱۵ یا طبقه‌ی رسا منطبق می‌گردند.

مرحله‌ی سوم: در مرحله‌ی سوم، نحوه‌ی نگاشت بازنمود آوایی بر بازنمود واجی (واژگانی) مدل‌سازی می‌شود. این مدل‌سازی توسط دستور بازشناسی صورت می‌گیرد. دستور بازشناسی نیز همچون دستور ادراکی شامل دو نوع محدودیت CATEG* و WARP* است. تفاوت این محدودیت‌ها با محدودیت‌های دستور ادراکی این است که محدودیت‌های بازشناسی از نوع واجی هستند در حالی که محدودیت‌های ادراکی، صوت‌شناختی هستند. محدودیت‌های CATEG* بازشناسی به‌طور کلی بازشناسی یک مشخّصه‌ی آوایی را در بازنمود آوایی به‌صورت مشخّصه‌ی واجی متناظر با آن در بازنمود واژگانی غیرمجاز می‌دانند و محدودیت‌های WARP* وجود هرگونه فاصله‌ی ادراکی را بین الگوهای واژگانی مرجع یک مشخّصه‌ی آوایی و الگوهای آوایی آن مشخّصه غیرمجاز می‌دانند. درک الگوهای آوایی به‌صورت الگوهای واژگانی در دستور بازشناسی تابعی از میزان نقض محدودیت‌های CATEG* و WARP* با توجّه به نحوه‌ی آرایش این محدودیت‌ها نسبت به یکدیگر است.

در بخش قبل از پارامتر NOT برای استخراج مشخّصه‌های آوایی واکداری و محل تولید همخوان انسدادی؛ از پارامترهای F1 و F2 برای استخراج مشخّصه‌های آوایی ارتفاع زبان و محل تولید بستار واکه‌ای و از پارامترهای نرخ تقاطع صفر و انرژی به‌هنجار برای استخراج مشخّصه‌ی ریشه استفاده کردیم. در این مرحله می‌خواهیم روش بازشناسی مشخّصه‌های واژگانی را از مشخّصه‌های آوایی با استفاده از دستور بازشناسی توضیح دهیم. ابتدا این روش را برای مشخّصه‌های آوایی دمش و واک توضیح می‌دهیم.

۲-۱-۵- مدل‌سازی بازشناسی الگوی واک

در مرحله‌ی قبل نشان دادیم که چگونه همخوان انسدادی تیغه‌ای با کشش نوفه‌ی رهش ۴۲ میلی ثانیه به‌صورت یک همخوان بی‌واک دمیده و همخوان انسدادی لبی با کشش نوفه‌ی رهش ۱۳ میلی ثانیه به‌صورت یک همخوان بی‌واک نادمیده درک می‌شود. حال سؤالی که مطرح می‌شود این که چگونه مشخّصه‌های [- واک] و [+گسترده چاکنای] برای انسدادی تیغه‌ای [t^h] درنهایت به مشخّصه [- واک] کاهش یافته و به‌صورت این الگوی واژگانی بازشناسی می‌شوند. همچنین چگونه مشخّصه‌های [- واک] و [-گسترده چاکنای] برای انسدادی لبی [p] در نهایت به‌صورت الگوی واژگانی [- واک] بازشناسی می‌شوند. ابتدا روش بازشناسی الگوی واژگانی [- واک] را از مشخّصه‌های [- واک] و [+گسترده چاکنای] برای انسدادی تیغه‌ای [t^h] شرح می‌دهیم. برای این منظور گام‌های زیر را انجام می‌دهیم:

گام اول: تعیین محدودیت‌های CATEG*

محدودیت‌های CATEG* در دستور بازشناسی مبتنی بر این واقعیت هستند که به‌ازای هر الگوی آوایی مرجع در بازنمود آوایی، یک الگوی واجی در بازنمود واژگانی وجود دارد که بازشناسی آن الگوی آوایی بر اساس الگوی واجی موردنظر غیرمجاز است:

CATEG* (x: x = الگوی آوایی در بازنمود آوایی، f = الگوی واجی در بازنمود واژگانی). برای الگوی [- واک]، [+گسترده چاکنای] یک الگوی واجی در سطح بازنمود واژگانی وجود دارد که عبارت است از /- واک/، /+گسترده چاکنای/. محدودیت ناظر بر بازشناسی الگوی آوایی [- واک]،[+گسترده چاکنای] به‌صورت الگوی واجی /- واک/، /+گسترده چاکنای/ عبارت است از :

([- واک]، +[گسترده چاکنای]:/- واک/، /+گسترده چاکنای/) CATEG*

در واج‌شناسی جهانی، دمیدگی یک ویژگی نشان‌دار برای انفجاری‌های بی‌واک است. یعنی انفجاری‌های بی‌واک معمولاً نادمیده هستند. به عبارت دیگر، به‌ندرت می‌توان زبانی را یافت که در آن دمیدگی برای انفجاری‌های بی‌واک تمایزدهنده باشد، ولی نادمیدگی نقش تقابلی نداشته باشد کنستوویچ، [۸]. این در حالی است که بیشتر زبان‌ها از امکانات واجی مشخّصه‌ی واکداری- بی‌واکی برای ایجاد تقابل واژگانی استفاده می‌کنند. زبان فارسی نیز از این الگو پیروی می‌کند. یعنی در نظام آوایی زبان فارسی، برای الگوهای آوایی بی‌واک نادمیده، بی‌واک دمیده و واکدار با توجّه به نقش تمایزدهندگی مشخّصه [واک]و عدم تمایزدهندگی [گسترده چاکنای] دو الگوی واجی مرجع یا الگوی واژگانی در سطح بازنمود واجی وجود دارد که عبارتند از: /- واک/ و /+ واک/. محدودیت‌های ناظر بر بازشناسی الگوی آوایی [- واک] به‌صورت الگوی واجی /- واک/ و]+ واک[به‌صورت الگوی واجی /+ واک/ عبارتند از: ()- واک[:/-

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-08-23]

واک/) *CATEG و (]+ واک[:/+ واک/) *CATEG. اگر فرض کنیم محدودیت‌هایی که الگوهای آوایی مرجع را به الگوهای واجی مرجع می‌نگارند در انتهای ساخت سلسله مراتبی و محدودیت‌هایی که این الگوها را به الگوهای واجی غیرمرجع می‌نگارند در ابتدای ساخت سلسله مراتبی آرایش محدودیت‌ها قرار می‌گیرند، در آن صورت آرایش محدودیت‌های مورد نظر به‌صورت زیر خواهد بود:

[- واک] :/-واک/) *CATEG
[+ واک] :/+واک/) *CATEG
≥ [+گسترده][- واک] :/+گسترده//-واک/*CATEG

حال اگر درون‌داد دستور بازشناسی]- واک[،]+گسترده چاکنای[باشد، در آن صورت طبق محدودیت‌های CATEG* هر دو الگوی واجی /- واک/ و /+ واک/ می‌توانند مرجع احتمالی برای بازشناسی الگوی آوایی موردنظر باشند زیرا آرایش آن‌ها نسبت به یکدیگر آزاد است. حال آن‌که دستور بازشناسی باید تنها یکی را به‌عنوان گزینه‌ی بهینه انتخاب کند. برای رفع این مشکل، دستور بازشناسی از محدودیت‌های WARP* استفاده می‌کند.

گام دوم: تعیین محدودیت‌های WARP*

محدودیت‌های WARP* در دستور بازشناسی بر این واقعیت استوار هستند که در صورت عدم تطابق الگوهای آوایی با الگوهای واجی مرجع، این الگوها جذب نزدیکترین الگوی واجی می‌شوند. این محدودیت‌ها به‌صورت زیر صورت‌بندی می‌شوند:

$$*\mathrm{Warp}\ (f:d) \Leftrightarrow \exists x_i\ \varepsilon f_{\mathrm{perc}}\ \Lambda\ \exists y_i\ \varepsilon\ f_{\mathrm{Rec}} \rightarrow |x_i - y_i| < d$$

(ادراکی perc واجی؛ Rec)

بر اساس این محدودیت، الگوی واجی y از ویژگی f نباید به اندازه‌ی هر مقداری از d (خطا در پردازش بازشناسی) متفاوت از الگوی آوایی مرجع x در بازنمود آوایی آن ویژگی باشد. به‌عبارت دیگر، بین الگوهای آوایی و الگوهای واجی باید یک تناظر کامل وجود داشته باشد. هرقدر عدم تناظر آوایی بین الگوهای آوایی و الگوهای واجی مرجع بیشتر باشد، محدودیت WARP* ناظر بر آن‌ها رتبه‌ی بالاتری داشته و نقض آن جریمه‌ی سنگین‌تری را به‌همراه خواهد داشت.

برای ترکیب‌های مختلف مشخّصه‌های [واک] و [چاکنای گسترده] در سطح بازنمود آوایی، دو الگوی واجی مرجع در سطح بازنمود واژگانی وجود دارد: /- واک/ و /+ واک/. بنابراین برای الگوی[- واک]، [+گسترده چاکنای] دو مرجع /- واک/ و /+ واک/ در ناحیه‌ی واجی افراز شده است. چون [- واک]، [+گسترده چاکنای] به‌طور کامل با /- واک/ و /+ واک/ تناظر آوایی ندارد؛ بنابراین باید جذب یکی از آن‌ها شود. این جذب تابع محدودیت‌های WARP* است. برای [- واک]، [+گسترده چاکنای] با توجه به الگوهای مرجع /- واک/ و /+ واک/ دو محدودیت WARP* وجود دارد که چون تناظر آوایی بین [- واک] ، [+گسترده چاکنای] و /- واک/ بیشتر از تناظر آوایی بین [- واک] ، [+گسترده چاکنای] و /+ واک/ است، بنابراین رتبه‌ی محدودیت WARP* دوم نسبت به محدودیت اوّل پایین‌تر بوده و نقض آن جریمه‌ی کمتری را به‌همراه خواهد داشت.

و [/-واک/ :[+گسترده[-واک]]Warp*

[/ +واک/ :[+گسترده][-واک]]Warp*

جدول(۶) نحوه بازشناسی الگوی آوایی [- واک]،]+گسترده چاکنای] را به‌صورت الگوی واجی /+ واک/ نشان می‌دهد.

جدول (۶)

[+گسترده] [-واک]	Per	*CATEG Others	*Warp (+ واک)	*Warp (- واک)	*C (-واک) *C (+واک)
/+گسترده/ /-واک/		*			
/ - واک/				*	*
/ + واک /			*		*
nothing	*				

چنان‌چه همین مراحل را برای الگوی آوایی [- واک]، [-گسترده چاکنای] انجام دهیم، بر اساس معیار فاصله‌ی آوایی، /- واک/ در سطح بازنمود واژگانی به‌عنوان مرجع واجی برگزیده می‌شود.

۲-۱-۶- مدل‌سازی بازشناسی مشخّصه‌ی محل تولید

در بخش قبل نشان دادیم که وقتی مقدار کشش نوفه‌ی رهش یک همخوان انسدادی بی‌واک دمیده، ۴۲ میلی‌ثانیه باشد، این همخوان به احتمال فراوان به‌صورت یک همخوان تیغه‌ای درک می‌شود. همچنین دیدیم که وقتی کشش نوفه‌ی رهش یک همخوان انسدادی بی‌واک نادمیده 13ms باشد، این همخوان احتمالاً به‌صورت یک همخوان لبی درک می‌شود. حال می‌خواهیم توضیح دهیم که چگونه مشخّصه‌های [تیغه‌ای] و [لبی] در بازنمود ادراکی واج‌گونه‌های [t^h] و [p] درنهایت به‌صورت مشخّصه‌های /تیغه‌ای/ و /لبی/ در بازنمود واژگانی واج‌های /t/ و /p/ بازشناسی می‌شوند. جدول زیر نحوه‌ی انطباق بین الگوی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-08-23]

آوایی[تیغه‌ای] با الگوی واجی /تیغه‌ای/ را در بازنمود واژگانی نشان می‌دهد. در این جدول، به ازای هر یک از مشخّصه‌های محل تولید [لبی] ، [تیغه‌ای]، [بدنه‌ای] و [ملازی] یک محدودیت CATEG* وجود دارد. هر چهار محدودیت، الگوهای آوایی درون‌داد را به الگوهای واجی مرجع (فضای واجی محل تولید همخوان‌های انسدادی به چهار ناحیه */لبی/، /تیغه‌ای/، /بدنه‌ای/* و */ملازی/* افراز می‌شود) نگاشته‌اند. امّا با توجّه به این که الگوی درون داد، [تیغه‌ای] است بنابراین محدودیت ([تیغه‌ای] :/تیغه‌ای/) CATEG* نسبت به سه محدودیت دیگر رتبه‌ی پایین‌تری دارد بُورسما،[۲]. همچنین با توجّه به این که متناظر با الگوی[تیغه‌ای] یک الگوی واجی مرجع، یعنی /تیغه‌ای/ در فضای واجی افراز شده است؛ بنابراین برای بازشناسی این الگو نیازی به استفاده از محدودیت‌های WARP* نیست.

جدول (۷)

*CATEG (تیغه‌ای)	*C (لبی) *C (بدنه‌ای) *C(ملارزی)	[تیغه‌ای]
	*	/بدنه‌ای/
	*	/ لبی/
*		/ تیغه‌ای /⇒
	*	/ملارزی/

حال اگر درون داد، [لبی] باشد، با توجه به پایین‌تر بودن رتبه‌ی محدودیت ([لبی] : /لبی/) CATEG* نسبت به سایر محدودیت‌های CATEG*، مشخّصه /لبی/ به‌عنوان مشخّصه‌ی واجی بهینه انتخاب خواهد شد.

۲-۱-۷- مدل‌سازی بازشناسی مشخّصه‌ی ارتفاع زبان و محلّ تولید بستارهای واکه‌ای

در بخش قبل نشان دادیم اگر واکه‌ای تولید شود که F1 آن ۲۲۰ هرتز و F2 آن ۷۰۰ هرتز باشد، شنونده آن واکه را به‌صورت یک واکه [+افراشته] و [+پسین] درک می‌کند. حال برای بازشناسی این مشخّصه‌ها به‌صورت مشخّصه‌های واژگانی /+افراشته/ و /+پسین/ از دستور بازشناسی استفاده می‌کنیم.

جداول زیر نحوه‌ی آرایش محدودیت‌های CATEG* و چگونگی بازشناسی مشخّصه‌های واژگانی /+افراشته/ و /+پسین/ در چارچوب دستور بازشناسی نشان می‌دهد:

جدول (۸)

*CATEG (+افراشته)	*C (-افتاده- افراشته) *C (+افتاده)	[+افراشته]
	*	/-افراشته/ ، /-افتاده/
	*	/ +افتاده /
*		/+افراشته/⇒

جدول (۹)

*CATEG (+پسین)	*CATEG (-پسین)	[+پسین]
*		/+پسین/
	*	/-پسین/

۲-۱-۸- مدل‌سازی بازشناسی مشخّصه‌ی ریشه

در بخش قبل درباره‌ی نحوه‌ی درک مقادیر پارامترهای نرخ تقاطع صفر و انرژی به‌هنجار به‌صورت طبقات آوایی انسدادی [+همخوانی، - پیوسته] و رسا [+ رسا] بحث کردیم. حال می‌خواهیم نحوه‌ی بازشناسی این مشخّصه‌ها را به‌صورت الگوهای واژگانی /+همخوانی، - پیوسته/ و /+ رسا/ توضیح دهیم. طبقات آوایی [+همخوانی، - پیوسته] و [+ رسا] در جداول ۱۰ و ۱۱ به‌ترتیب به‌عنوان درون‌داد دستور بازشناسی قرار گرفته‌اند. در هر جدول محدودیت‌های CATEG* و WARP* مربوطه مشخّص شده‌اند. جدول ۱۰ نحوه‌ی انطباق [+همخوانی، - پیوسته] و جدول ۱۱ نحوه‌ی انطباق [+ رسا] با طبقه‌ی واجی رسا را نشان می‌دهد:

۲-۲- لایه‌ی واج‌یاب: این لایه، واج‌ها را از رشته علائم صوت‌شناختی گفتار استخراج می‌کند. برای این منظور جهت هر سه قالب زمانی مجموعه‌ای از واحدهای واج‌یاب، فعال می‌شود. همپوشی بین واج‌یاب‌ها در این مدل به‌صورت همپوشی قالب‌های زمانی است؛ به‌این‌صورت که هر واحد واج‌یاب می‌تواند عملاً به شش قالب زمانی دسترسی داشته باشد.

جدول (۱۰)

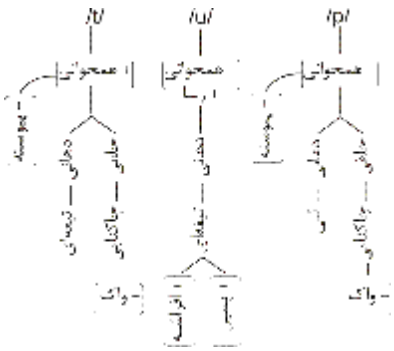
*CATEG +همخوانی -پیوسته	*CATEG +همخوانی +پیوسته	*CATEG +رسا	+همخوانی -پیوسته
		*	/+رسا/
	*		+همخوانی +پیوسته
*			+همخوانی -پیوسته

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-08-23]

جدول (۱۱)

*CATEG +رسا	*CATEG +همخوانی +پیوسته	*CATEG +همخوانی -پیوسته	/+رسا/
*		*	/+رسا/
	*		+همخوانی +پیوسته
			+همخوانی -پیوسته

حال به مثال داده شده بازمی‌گردیم. برای سه قالب زمانی اوّل و همچنین قالب‌های زمانی چهارم و پنجم که ناظر بر همپوشی بستار همخوانی /t/ با بستار واکه‌ای /u/ است، واحد واج‌یاب /t/ را فعّال می‌کنیم. برای این قالب‌های زمانی مشخّصه‌های واجی /- واک/، /تیغه‌ای/، /+ همخوانی، - پیوسته/ به‌دست آمد. واحد واج‌یاب /t/ با ترکیب این مشخّصه‌ها درخت واجی ۳ را برای واج /t/ استخراج می‌کند:



شکل(۵) شکل(۴) شکل(۳)

برای قالب‌های زمانی ششم و هفتم واحد واج‌یاب /u/ را فعال می‌کنیم. برای این قالب‌های زمانی مشخّصه‌های واجی /+ افراشته/، /+ پسین/، /+ رسا/ به‌دست آمد. واحد واج‌یاب /u/ با ترکیب این مشخّصه‌ها درخت واجی ۴ را برای واج /u/ استخراج می‌کند.

برای قالب‌های زمانی دهم، یازدهم و دوازدهم و همچنین قالب‌های زمانی هشتم و نهم که ناظر بر همپوشی آغازه /p/ با پایانه‌ی /u/ است، واحد واج‌یاب /p/ را فعّال می‌کنیم. برای این قالب‌های زمانی مشخّصه‌های واجی /- واک/، /لبی/، /+ همخوانی، -پیوسته/ به‌دست آمد. واحد واج‌یاب /p/ با ترکیب این مشخّصه‌ها درخت واجی ۵ را برای واج /p/ استخراج می‌کند.

۲-۳- لایه‌ی کلمه‌یاب: در آخرین لایه، کلمه‌ها از رشته علائم صوت‌شناختی گفتار استخراج می‌شوند. برای این منظور برای هر سه قالب زمانی مجموعه‌ای از واحدهای کلمه‌یاب فعال می‌شود. با توجّه به این که واحدهای کلمه‌یاب با یکدیگر همپوشی دارند، هر واحد به بیش از سه قالب زمانی دسترسی دارد. تعداد قالب‌های زمانی که هر واحد کلمه‌یاب می‌تواند به آن‌ها دسترسی داشته باشد، با توجّه به طول کلمه‌ی متغیر است.

برای قالب زمانی اول تا دوازدهم واحد کلمه‌یاب /tup/ را فعّال می‌کنیم. چنان‌که ملاحظه شد، برای قالب‌های زمانی اول تا پنجم واج /t/؛ ششم و هفتم واج /u/ و هشتم تا دوازدهم واج /p/ به‌دست آمد. حال واحد کلمه‌یاب /tup/ با ترکیب این واج‌ها درخت واجی کلمه‌ی "توپ" را استخراج می‌کند.

۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله مدلی برای درک و بازشناسی کلمات زبان فارسی ارائه شد. بر اساس این مدل، در بازنمود آوایی هر واحد زبانی، مجموعه‌ای از الگوهای صوت‌شناختی، به‌عنوان الگوهای آوایی مرجع ذخیره می‌شوند و درک آن واحد از طریق انطباق الگوهای صوت‌شناختی درون‌داد با الگوهای آوایی مرجع در بازنمایی آوایی صورت می‌گیرد. مدل پیشنهادی ترکیبی از مدل المان و مک کللند [۱] تحت عنوان "اثر" و مدل بورسما [۲] تحت عنوان "دستور ادراکی و دستور بازشناسی" است. این مدل شامل سه لایه‌ی واحدیاب است: ۱) لایه‌ی مشخّصه‌یاب.۲) لایه‌ی واج‌یاب و ۳) لایه‌ی کلمه‌یاب. درون‌داد مدل، امواج صوتی است. امواج صوتی، ابتدا وارد لایه‌ی مشخّصه‌یاب می‌شود. لایه‌ی مشخّصه‌یاب با استفاده از دو دستور ادراکی و بازشناسی، امواج صوتی را به مشخّصه‌های واجی تبدیل می‌کند. سپس، مشخّصه ها وارد لایه‌ی واج یاب می شوند و این لایه، واحد واجی را از طریق ترکیب مشخّصه‌های واجی در قالب های زمانی مربوطه استخراج می کند. در مرحله پایانی لایه‌ی کلمه‌یاب با ترکیب واج‌ها در چندین قالب زمانی، کلمه را استخراج می کند.

دستور ادراکی و بازشناسی پیشنهادی نگارنده، در لایه‌ی مشخّصه‌یاب مبتنی بر واج‌شناسی بهینگی است. مدل واج‌شناسی بهینگی، واج‌شناسی کلمات را درک انسانی مدل‌سازی می‌کند و می‌توان از آن برای بازشناسی ماشینی کلمات مجزا از هم یا پیوسته استفاده کرد.

۴- منابع

[1]- Elman and McClelland (1988). **The Trace Model.** Psycholinguistic Approaches To Spoken Word Recognition. Tutorial 2B

[2]- Boersma, Paul (1998). Functional phonoloy: Formalizing the interactions between articulatory and perceptual devices. ph.D dissertation, University of Amesterdam.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-08-23]

[۳]- 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.

[۴]- صادقی، وحید (۱۳۸۵). بازشناسی واجی کلمات فارسی: رویکردی مبتنی بر نظریه بهینگی، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تهران، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه زبان‌شناسی.

[5]- Ladefoged, P. and Maddieson, I. (1996). **The Sounds of the World's languages.** Cambridge M, blackwell **Modelling Persian Spoken Word Recognition In this paper, A model**.

[6]- Ladefoged, P.and Cho, T. (1999). **Variation and Universals in Vot: Evidence from 18 languages.** Journal of phonetics, 27, 207-229.

[7]- Cho, T., S.- A. Jun, S. Jung and P. Ladefoged (2000). **An acoustic and Aerodynamic study of consonants in Cheju.** Speech Sciences, 7, 109-142

[8]- Kenstowicz, M. (1994). **Phonology in Generative Grammar.** Cambridge, MA, and Oxford: Blackwell Publishers.

وحید صادقی تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی رشته‌ی آموزش زبان انگلیسی در سال ۱۳۷۶ به پایان رساند. وی در سال ۱۳۷۹ در رشته‌ی زبان‌شناسی در مقطع کارشناسی ارشد از دانشگاه تهران فارغ التحصیل شد و در سال ۱۳۸۵ نیز در همان رشته مدرک دکترای خود را اخذ نمود.

حوزه‌ی پژوهشی مورد علاقه‌ی وی پردازش گفتار و درک و بازشناسی گفتار است.

نشانی رایانامک (پست الکترونیکی) ایشان عبارت است از:
va_sadeghi2000@yahoo.com:

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2025-08-23]