

## ارائه روشی مناسب برای برچسب گذاری واج گونه‌ای پیکره‌های گفتاری بر اساس سیستم IPA<sup>۱</sup>

طاهره احمدی<sup>۲</sup>

بتول علی نژاد<sup>۳</sup>

حسین کارشناس<sup>۴</sup>

باقر باباعلی<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۰

نوع مقاله: پژوهشی

### چکیده

با توجه به نقش اساسی پیکره‌ها در بهبود کیفیت عملکرد سیستم‌های مبتنی بر داده، به کارگیری پیکره‌های گفتاری مناسب در سیستم‌های پردازش گفتار نیز امری ناگزیر است. به طور معمول، در سیستم‌های پردازش گفتار، از پیکره‌های

<sup>۱</sup> شناسه دیجیتال (DOI): 10.22051/jlr.2020.28072.1782

<sup>۲</sup> دانشجوی دکتری تخصصی، گروه زبان‌شناسی، دانشکده زبان‌های خارجی، دانشگاه اصفهان؛

pazhvak\_ta@fgn.ui.ac.ir

<sup>۳</sup> دکتری تخصصی زبان‌شناسی، دانشیار گروه زبان‌شناسی، دانشکده زبان‌های خارجی، دانشگاه اصفهان (نویسنده

مسئول)؛ b.alinezhad@fgn.ui.ac.ir

<sup>۴</sup> دکتری تخصصی هوش مصنوعی، استادیار گروه هوش مصنوعی، دانشکده کامپیوتر، دانشگاه اصفهان؛

h.karshenas@eng.ui.ac.ir

<sup>۵</sup> دکتری تخصصی هوش مصنوعی، استادیار دانشکده ریاضی، آمار و علوم کامپیوتر، دانشگاه تهران؛

babaali@ut.ac.ir

واجی بهره گرفته می‌شود. یکی از روش‌های شناخته‌شده برای افزایش دقت سیستم‌های پردازش گفتار در سال‌های کنونی، بهره‌گیری از پیکره‌های واج‌گونه‌ای است. ویژگی آشکار پیکره‌های واج‌گونه‌ای در مقایسه با پیکره‌های واجی، اختصاص برچسب‌های واج‌گونه‌ای به هر یک از واج‌ها است. راهکار پیشنهادی برای تهیه پیکره واج‌گونه‌ای، پیاده‌سازی برنامه‌ای با بهره‌گیری از روش مبتنی بر قاعده، برای تبدیل واج‌ها به واج‌گونه‌ها و اعمال این برنامه بر پیکره واجی است. شالوده بهره‌گیری از رویکرد مورد اشاره، دسترسی به چنین قواعدی است. پس از تدوین این قواعد از منابع موجود در زبان، ایجاد بستر مناسب پیاده‌سازی و سپس پیاده‌سازی برنامه مربوطه و اعمال آن بر پیکره گفتاری واجی، پیکره واج‌گونه‌ای تهیه می‌شود. زبان فارسی نیز فاقد پیکره واج‌گونه‌ای است و پیکره گفتاری فارس‌دات کوچک در این زبان، دارای تقطیع در سطح واج و واژه است. به منظور تبیین هر چه بهتر راهکار پیشنهادشده در پژوهش حاضر، به عنوان یک نمونه عملی، مرحله‌های برچسب‌گذاری واج‌گونه‌ای پیکره واجی فارس‌دات کوچک، به صورت گام به گام اجرا شده‌است.

**واژه‌های کلیدی:** واج، واج‌گونه، پیکره، نظام الفبای آوانگاری بین‌المللی (آی.پی.ای)

## ۱. مقدمه

زبان‌شناسی پیکره‌ای، شاخه‌ای از زبان‌شناسی کاربردی است که به بررسی و مقایسه جنبه‌های گوناگون داده‌های زبانی می‌پردازد. در این میان، پیکره‌ها ابزار جدایی‌ناپذیر این شاخه از زبان‌شناسی به شمار می‌آیند. به سبب نقش گسترده و اهمیت روزافزون زبان‌شناسی پیکره‌ای در پیشرفت علوم گوناگون، تولید و توسعه انواع پیکره‌های زبانی، یکی از اولویت‌های کارشناسان و پژوهشگران زبان‌های گوناگون در چند دهه گذشته بوده‌است (Weisser, 2016, p. 13). حوزه پردازش گفتار پس از ایجاد سیستم‌های مربوطه و تلاش در افزایش دقت این سیستم‌ها و افزون بر آن، انجام برخی پژوهش‌های ویژه در زبان‌شناسی، استفاده از روش‌های وابسته به بافت، در دهه اخیر رونق خاصی یافته‌است (Xu et al., 2016, p. 328-333; Veiga et al., 2010; Imedjdouben & Houacine, 2015, p. 1-4).

یکی از بهترین روش‌ها در دست‌یابی به این هدف، استفاده از پیکره‌هایی است که علاوه بر تقطیع در سطح واج، دارای برچسب‌های ویژه‌ای برای نشان دادن تمایزات بافتی واج‌های گوناگون

(یعنی برجسب‌های واج‌گونه‌ای) نیز باشند. با وجود بهره‌گیری گسترده از پیکره‌های واج‌گونه‌ای در دنیا، هیچ‌یک از پیکره‌های زبان فارسی، برجسب‌گذاری واج‌گونه‌ای ندارند. بنابراین، لزوم تجهیز دست‌کم یکی از پیکره‌های گفتاری فارسی به برجسب‌های واج‌گونه‌ای، برای افزایش دقت و بهبود عملکرد سیستم‌های پردازش گفتار و ایجاد برخی بسترهای مطالعاتی و پژوهشی ویژه در زبان‌شناسی، امری بدیهی می‌نماید. در این پژوهش، روشی برای برجسب‌گذاری واج‌گونه‌ای پیکره‌های گفتاری واجی ارائه شده‌است. به منظور تجهیز زبان فارسی به یک پیکره واج‌گونه‌ای، مراحل کار، بر روی پیکره واجی فارس‌دات<sup>۱</sup> کوچک ( Bijankhan, Sheikhzadegan & Roohani, 1994, p. 826-829) به عنوان اصلی‌ترین پیکره گفتاری در زبان فارسی، به اجرا درآمده‌است (Sameti & Bahrani, 2005; Bahrani, 2005). برای افزودن برجسب‌های واج‌گونه‌ای به این پیکره، به قواعد ویژه‌ای برای تبدیل واج‌ها به واج‌گونه‌ها در زبان فارسی نیاز است. این پژوهش، در بررسی‌های آزمایشگاهی و آکوستیکی خود به دنبال شناسایی واج‌گونه‌های واج‌های زبان فارسی نیست. بلکه مقاله حاضر در پی تدوین و هماهنگ‌سازی واج‌گونه‌های شناسایی شده در پژوهش‌های گوناگون و سپس تطابق دادن آن‌ها با سیستم الفبای آوانگاری بین‌المللی<sup>۲</sup> (آی.پی.ای) است. در این راستا، نگارندگان در نهایت به یک مجموعه واج‌گونه‌ای مدون و تا اندازه‌ای ممکن استاندارد دست یافته و قواعد واجی لازم برای استخراج واج‌گونه‌ها هر یک از واج‌های فارسی را ارائه می‌دهند. هر چند یکی از محدودیت‌های این پژوهش، کامل نبودن پژوهش‌های مرتبط با استخراج واج‌گونه‌های واج‌های مختلف فارسی است. این درحالی است که برنامه حاضر، دارای قابلیت به‌روز شدن است. همچنین این برنامه، در صورت انجام هر گونه پژوهش در پیوند با واج‌گونه‌های فارسی و کامل کردن آثار نظری موجود، انعطاف لازم برای بهبود یا پیشرفت عملکرد، بر مبنای پژوهش‌های جدید در آینده را دارد. پژوهش حاضر لزوم انجام آزمایش‌های زبان‌شناختی دقیق‌تر را برای شناسایی واج‌گونه‌های فارسی آشکارتر می‌کند. با اعمال قواعد پیاده‌سازی شده بر روی پیکره واجی، می‌توان برجسب‌های واج‌گونه‌ای را به آن افزود.

در ادامه در بخش دوم، به چارچوب نظری پژوهش و در بخش سوم به مرور پژوهش‌های پیشین پرداخته می‌شود. روش پژوهش و یافته‌های به‌دست‌آمده، در بخش چهارم شرح داده می‌شود. بخش پنجم، به جمع‌بندی مختصری از این پژوهش اختصاص می‌یابد.

<sup>1</sup> FarsDat database

<sup>2</sup> International Phonetic Alphabet (IPA)

## ۲. چارچوب نظری پژوهش

مباحث نظری این پژوهش به تفکیک در سه بخش شامل بررسی مفهوم واج و واج‌گونه، نظریه مشخصه ممیز<sup>۱</sup> با تأکید بر مشخصه‌های گاسن‌هاون و جیکبز (Gussenhoven & Jacobs, 2017) و معرفی برخی مفاهیم مورد استفاده در مطالعه حاضر، ارائه خواهد شد. معیار عمل در بحث واج‌گونه‌ها و مشخصه‌های واج‌گونه‌ای زبان فارسی، آثار اشاره شده در ابتدای بخش (۴-۱) است.

### ۲.۱. مفهوم واج و چگونگی شکل‌گیری واج‌گونه‌ها

هنگام برش زنجیره گفتار، با دو دسته از ویژگی‌های آوایی یعنی واحدهای زنجیری و زبرزنجیری روبه‌رو می‌شویم. واحدهای زنجیری یعنی همان واج‌ها مجموعه‌ای از واحدهای انتزاعی تشکیل‌دهنده مبنای گفتارند که معمولاً به دو دسته واکه‌ها و همخوان‌ها دسته‌بندی می‌شوند. هر یک از این دو طبقه، با ویژگی‌های تولید نخستین و دومین ویژه‌ای شناسایی می‌شوند. تولید نخستین همخوان‌ها شامل ترکیب سه مختصه جایگاه تولید، شیوه تولید و واکداری یا بی‌واکی و تولید نخستین واکه‌ها ترکیب سه مختصه ارتفاع زبان، شکل لب‌ها و جایگاه فعال زبان است. یک واکه یا همخوان ممکن است فقط فرآورده تولید نخستین باشد یا افزون بر آن، دارای مختصات ناشی از تولید دومین نیز باشد. مهمترین تولیدهای دومین همخوان‌ها واک‌رفتگی، هجایی‌شدگی، لبی‌شدگی، کامی‌شدگی، نرم‌کامی‌شدگی، دمیدگی، حلقومی‌شدگی و چاکنایی‌شدگی بوده و تنها مختصه تولید دومین واکه‌ها، خیشومی‌شدگی است. همچنین تولیدهای دومین مشترک بین همخوان و واکه، سختی، نرمی و کشش است. در توصیف واکه‌ها و همخوان‌ها ابتدا ویژگی‌های تولید نخستین، و سپس ویژگی‌های تولید دومین، بررسی می‌شود (Haghsheenas, 2013, p. 69-131; Roach, 2010, p. 42-43).

برای تشکیل زنجیره گفتار در زبان‌های گوناگون، واکه‌ها و همخوان‌ها بر پایه اصول و قواعد ویژه‌ای در کنار هم قرار می‌گیرند. همنشینی واج‌ها در کنار یک‌دیگر در هنگام گفتار، منجر به وقوع تغییراتی در آواها می‌شود که این تغییرات را می‌توان عمدتاً ناشی از هم‌تولیدی دانست. هم‌تولیدی به صورت ناآگاهانه رخ می‌دهد. بر پایه آن، هنگام تولید واحدهای آوایی مختلف در روند گفتار، آواهای مجاور از جنبه زمان‌بندی ویژگی‌های تولیدی همپوشی پیدا می‌کنند و بر یک‌دیگر تأثیر می‌گذارند (Hardcastle et al., 2010, p. 316-323). تولیدهای دومین نیز

<sup>1</sup> distinctive feature

همگی گونه‌هایی از هم تولیدی هستند. به هر یک از صورت‌هایی که واج‌ها بر اثر هم‌تولیدی، در بافت‌های آوایی مختلف به خود می‌گیرند، واج گونه گفته می‌شود. چگونگی ایجاد واج گونه‌ها را فرایندهای آوایی/واجی توصیف می‌کنند. فرایندهای واجی، گونه‌های مختلفی دارند که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از همگونی، ناهمگونی، حذف، درج و قلب (Hardcastle et al., 2010, p. 316-323; Ladefoged & Johnson, 2014, p. 277, 111; Gussenhoven & Jacobs, 2017, p. 45, 83-103).

## ۲.۲. نظریه مشخصه ممیز

در واج‌شناسی زایشی، کوچکترین واحد واجی، مشخصه تمایزدهنده است. هر مشخصه تمایزدهنده بر روی یک مقیاس فیزیکی تعریف می‌شود که دو مقدار یا ارزش دارد: صفر یا یک. مقدار صفر، به معنی عدم حضور مشخصه در واج است. به ازای هر مشخصه تمایزدهنده واجی، یک مشخصه آوایی وجود دارد که بر روی همان مقیاس فیزیکی تعریف می‌شود با این تفاوت که علاوه بر مقدارهای صفر و یک، مقدارهای دیگری را نیز می‌پذیرد (Chomsky & Halle, 1968, p. 298, 299). همچنین در واج‌شناسی زایشی، رابطه بین سطح واجی و آوایی را قواعد واجی تعریف می‌کند که مقادیر صفر و یک مشخصه‌ها را به مقادیر مشخصی در سطح آوایی نگاشت می‌کند. مابین سطح آوایی و واجی، سطح بینابینی واج گونه‌ای قرار دارد (Bijankhan, 2001). به منظور آشنایی با واج‌ها و واج گونه‌های فارسی، در این مطالعه مشخصه‌ها در چارچوب نظریه مشخصه ممیز بررسی می‌شود. نوع و تعداد مشخصه‌های ممیز در مکتب‌های گوناگون متفاوت است. از جدیدترین نظام‌های مشخصه‌ای و مبنای کار پژوهش حاضر، نظام ارائه شده به وسیله گاسن‌هاون و جیکبز (Gussenhoven & Jacobs, 2017) است.

## ۲.۲.۱. مشخصه‌های پیشنهادی گاسن‌هاون و جیکبز

بر پایه دیدگاه گاسن‌هاون و جیکبز (Gussenhoven & Jacobs, 2017)، مشخصه‌ها به دو نوع «تک‌ارزشی<sup>۱</sup>» و «دو‌ارزشی<sup>۲</sup>» گروه‌بندی شده‌اند. مشخصه‌های تک‌ارزشی، به توصیف جایگاه تولید اختصاص یافته‌اند و عدم حضور آن‌ها در نمودار مشخصه‌ای یک واج، به معنای نبود این مشخصه‌ها در آن واج است. در مورد مشخصه‌های دو‌ارزشی، ارزش مثبت، به معنای حضور و ارزش منفی، به معنای عدم حضور مشخصه در فهرست ویژگی‌های یک واج است. با در

<sup>1</sup> univalent

<sup>2</sup> binary

نظر گرفتن دو نوع تک‌ارزشی و دوارزشی، گاسن‌هاون و جیکبز (همان)، مشخصه‌ها را در چهار گروه اصلی بررسی می‌کنند. در ادامه، به معرفی این چهار گروه و سپس توصیف اعضای این گروه‌ها پرداخته خواهد شد (Gussenhoven & Jacobs, 2017, p. 64- 93).

یکم - مشخصه‌های طبقه اصلی<sup>۱</sup>: همخوانی [+consonantal]، رسایی [+sonorant] و ناسودگی [+approximant]

دوم - مشخصه‌های حنجره‌ای<sup>۲</sup>: واک [±voice]، چاکنای باز [±spread glottis]، و چاکنای منقبض شده [±constricted glottis]

سوم - مشخصه‌های شیوه<sup>۳</sup> تولید: پیوسته [±continuant]، خیشومی [±nasal]، تیز [±strident] و کناری [±lateral]

چهارم - مشخصه‌های جایگاه<sup>۴</sup> تولید، شامل چهار مشخصه تک‌ارزشی که هر یک ممکن است دارای زیرمجموعه‌ای از مشخصه‌های دو-ارزشی باشند: لبی یا [LABIAL]، تیغه‌ای یا [CORONAL]، بدنه‌ای یا [DORSAL] و ریشه‌ای یا [RADICAL].

الف) [+consonantal]: این مشخصه، تمایزدهنده همخوان‌ها از غیر همخوان‌هاست و در فارسی برای همخوان‌ها ارزش مثبت و برای واکه‌ها و نیم‌واکه‌ها (غلت‌ها) ارزش منفی به خود می‌گیرد.

ب) [+sonorant]: رساها، با حداقل انقباض در مجرای صوتی تولید می‌شوند و هنگام تولید آن‌ها فشار هوا در درون و بیرون مجرای صوتی تقریباً یکسان است؛ واکه‌ها به همراه نیم‌واکه‌ها، روان‌ها و خیشومی‌ها دارای مشخصه [+sonorant] و انسدادی‌ها، انسایشی‌ها و سایشی‌ها، دارای مشخصه [-sonorant] هستند.

پ) [+approximant]: در تولید واج‌های ناسوده انقباض ویژه‌ای در مجرای گفتار ایجاد می‌شود و هوا به سرعت از این مجرا گذر می‌کند. در فارسی واکه‌ها و رساهای غیرخیشومی به جز [l] دارای مشخصه [+approximant] هستند.

ت) [±voice]: این مشخصه به ارتعاش تارآواها اشاره دارد و برای وقوع آن، تارآواها تا اندازه‌ای به یک‌دیگر نزدیک می‌شوند. واج‌های زبان فارسی از جنبه دارا بودن این مشخصه در دو دسته واک‌دار و بی‌واک قرار می‌گیرند. واج‌های /p/، /t/، /c/، /ʔ/، /f/، /s/، /h/، /ʃ/، /tʃ/ و /x/، دارای ویژگی [-voice] و سایر واج‌ها دارای ویژگی [+voice] هستند. این مشخصه همچنین در

<sup>1</sup> major-class features

<sup>2</sup> laryngeal features

<sup>3</sup> manner features

<sup>4</sup> place features

نقش واج گونه‌ای، به تبدیل یک همخوان واک‌دار به جفت بی‌واکش در برخی بافت‌ها اشاره دارد؛ به این معنا که در این حالت، واک‌رفتگی تا اندازه‌ای است که آوای اولیه به آوای دیگری تبدیل می‌شود. تفاوت [± voice] با مشخصه واج گونه‌ای «Voiceless (VL)» در این است که VL برای توصیف حالتی به کار می‌رود که یک آوای واک‌دار در برخی بافت‌ها دچار واک‌رفتگی می‌شود. هر چند، این واک‌رفتگی کمتر از میزانی است که منجر به تبدیل آوای اولیه به یک آوای دیگر شود. [± voice] خود به تنهایی در تبدیلی b/ به [p]، /d/ به [t]، /j/ به [c]، /z/ به [s]، /ʒ/ به [ʃ]، /v/ به [f]، /dʒ/ به [tʃ] و به همراه [+Spir] که در بخش (۵-۲) معرفی خواهد شد، در تبدیلی /g/ به /x/ و /dʒ/ به /ʃ/ نقش دارد.

ث) [± spread glottis]: تولید واج‌هایی که مشخصه [+spread glottis] دارند، با نوعی سایش قابل شنیدن در چاکنای همراه است. این مشخصه نقش مهمی در تولید دمش در انسدادی-های بی‌واک دارد و در فارسی به عنوان یک مشخصه واجی، فقط در /h/ مشاهده می‌شود. همچنین در یک نقش واج گونه‌ای، به وقوع دمش (با فرض زیربنایی نبودن آن) در برخی بافت‌ها در انسدادی‌های بی‌واک اشاره دارد و در تبدیلی /p/ به [p<sup>h</sup>]، /t/ به [t<sup>h</sup>] و /c/ به [c<sup>h</sup>] یا [k<sup>h</sup>] نقش دارد.

ج) [± constricted glottis]: این مشخصه با کشش و سختی تارآواها تولید می‌شود و در واج‌های حلقی<sup>۱</sup> و چاکنایی<sup>۲</sup> و مکیده<sup>۳</sup> نمود می‌یابد. در فارسی فقط واج /ʔ/ دارای ارزش مثبت این مشخصه است.

چ) [± continuant]: واج‌های [+continuant]، بدون گرفتگی یا با گرفتگی ناقص مجرای صوتی میانی تولید می‌شوند. در فارسی، واکه‌ها، نیم‌واکه‌ها، سایشی‌ها و [r]، دارای ارزش مثبت این مشخصه هستند.

ه) [± nasal]: این مشخصه با پائین آمدن نرم کام هم‌زمان با وقوع انسداد در مجرای دهان تولید می‌شود. افزون بر همخوان‌های خیشومی /m/ و /n/، واکه‌های خیشومی شده نیز ارزش مثبت آن را دارند. خیشومی شدگی هنگامی رخ می‌دهد که یک واکه در هجای پیشین یا پسین یک همخوان خیشومی قرار گیرد. پس این مشخصه به عنوان مشخصه‌ای واج گونه‌ای نیز در تبدیلی /ɒ/ به [ɔ̃]، /o/ به [õ]، /u/ به [ũ]، /a/ به [ã]، /e/ به [ẽ] و /i/ به [ĩ] نقش دارد.

<sup>1</sup> laryngealized

<sup>2</sup> glottalized

<sup>3</sup> imollosive

خ) [+strident]: این مشخصه، حاصل نوعی سایش است و فقط مربوط به همخوان‌های گرفته شامل سایشی و انسایشی است. همخوان‌های سایشی به جز /h/ و نیز همخوان‌های انسایشی، دارای مشخصه [+strident] هستند. واج‌های دارای این مشخصه، با بسامد و شدت بالایی تولید می‌شوند و هنگام تولید آن‌ها مجرای عبور هوا تنگ است.

د) [-lateral]: در تولید واج‌های [+lateral] مانند /l/، در اثر تماس زبان با نقطه‌ای در سقف دهان، مانعی به وجود می‌آید و جریان هوا از یک یا دو طرف این مانع، خارج می‌شود. سایر همخوان‌ها مشخصه [-lateral] دارند.

جایگاه تولید، شامل چهار مشخصه تک‌ارزشی اصلی و مجموعه‌ای از مشخصه‌های دوارزشی مربوط به آن‌هاست.

یکم- [LABIAL]: در زبان فارسی، واج‌های دولبی و واج‌های لبی دندانی دارای این مشخصه هستند. در بحث واج‌گونه‌ها، تأثیر این مشخصه را می‌توان در تبدیل /n/ به /m/ مشاهده کرد. واج‌های دارای مشخصه تک‌ارزشی [LABIAL]، با مشخصه دوارزشی گرد [+round] از یک‌دیگر تفکیک می‌شوند.

دوم- [-round]: ارزش مثبت این مشخصه را به‌عنوان یک مشخصه واجی، در واژه‌های پسین داریم. افزون بر این، در نقش واج‌گونه‌ای، در همخوان‌های لبی شده یعنی همخوان‌هایی که پیش از واژه‌های پسین قرار می‌گیرند، مشاهده می‌شود. این مشخصه در تبدیل شدن‌های /p/ به [p<sup>w</sup>]، /b/ به [b<sup>w</sup>]، /t/ به [t<sup>w</sup>]، /d/ به [d<sup>w</sup>]، /g/ به [g<sup>w</sup>]، /s/ به [s<sup>w</sup>]، /z/ به [z<sup>w</sup>]، /f/ به [f<sup>w</sup>]، /ʒ/ به [ʒ<sup>w</sup>]، /v/ به [v<sup>w</sup>]، /χ/ به [χ<sup>w</sup>]، /r/ به [r<sup>w</sup>]، /l/ به [l<sup>w</sup>]، /h/ به [h<sup>w</sup>]، /ʃ/ به [ʃ<sup>w</sup>]، /dʒ/ به [dʒ<sup>w</sup>]، /m/ به [m<sup>w</sup>]، /n/ به [n<sup>w</sup>] و /j/ به [j<sup>w</sup>] نقش دارد.

سوم- [CORONAL]: واج‌های دارای مشخصه تیغه‌ای، با بالا آمدن تاج زبان از جمله بالا آمدن نوک و یا تیغه زبان، تولید می‌شوند. محدوده وقوع این مشخصه، از ناحیه بین دندانی تا پیش‌کامی است. بنابراین، واج‌های لثوی-کامی شامل /ʃ, dʒ, ʒ, ʃ/ و واج‌های لثوی شامل /l, r, z, s, n/ ارزش مثبت این مشخصه را دارند. این واج‌ها در یک دسته‌بندی جزئی‌تر، با دو زیرمشخصه قدامی [+anterior] و پخش [+distributed] از هم جدا می‌شوند.

چهارم- [-anterior]: بر اساس این مشخصه، فضای دهان به دو ناحیه‌ی قدامی و خلفی بخش‌بندی می‌شود. واج‌های دارای مشخصه [+anterior]، با نوعی گرفتگی در ناحیه‌ی لثوی یا نواحی قدامی‌تر، تولید می‌شوند. همخوان‌های لثوی-کامی (پس‌لثوی)، پیش‌کامی و برگشتی و سایر همخوان‌های خلفی‌تر، دارای مشخصه [-anterior] هستند.



پنجم- [± distributed]: این مشخصه به طول مانع ایجاد شده در مجرای صوتی اشاره می‌کند؛ پس برای واکه‌ها تعریف نمی‌شود. در همخوان‌های پخش، انقباضی ادامه‌دار و در غیر پخش، انقباضی در یک مسیر کوتاه، در جریان هوا روی می‌دهد. واج‌های نوک‌زبانی<sup>۱</sup> مانند /t, d, n/ و برگشتی مانند /r/ و نیز /s, z/ دارای مشخصه [-distributed] و واج‌های تیغه‌ای<sup>۲</sup> مانند /f, ʒ, ʃ, dʒ/ و دندان‌ی مانند /t, ɖ/ دارای [+distributed] هستند. مشخصه [-distributed] و مشخصه واج‌گونه‌ای NoAudibleRelease (که در ادامه معرفی خواهد شد) در تبدیل /t/ به [tʰ] و /ɖ/ به [dʰ] نقش دارد.

ششم- [DORSAL]: همخوان‌های بدنه‌ای به دو گروه نرم کامی (مانند همخوان‌های /k, g/ فارسی) و ملازی (مانند /χ/ فارسی)، دسته‌بندی شده‌اند. افزون بر این، تمامی واکه‌ها دارای مشخصه [DORSAL] هستند. این مشخصه دارای چهار زیرمشخصه افراشته [+high]، افتاده [± low]، پسین [+back] و سخت [± tense] است.

هفتم- [+high]: این مشخصه فقط در پیوند با واکه‌ها بررسی می‌شود. این مشخصه، همخوان‌هایی که با بدنه زبان تولید می‌شوند را نیز در بر می‌گیرد. واج‌هایی که در تولید آن‌ها بدنه زبان بالاتر از حالت خنثی قرار می‌گیرد و به سقف دهان نزدیک می‌شود، یعنی /i, u, k, g/، دارای مشخصه [+high] و واج‌های /χ, e, o, a/ دارای مشخصه [-high] هستند.

هشتم- [± low]: در تولید [+low]، زبان پایین‌تر از حالت خنثی است. واکه‌های افراشته و میانی، [-low] هستند.

نهم- [+back]: هنگام تولید واج‌های دارای مشخصه [+back]، زبان در جایگاهی عقب‌تر از حالت خنثی قرار می‌گیرد. همه واکه‌های پسین به علاوه همخوان‌های /k, g, G/ در فارسی، دارای مشخصه [+back] هستند.

دهم- [± tense]: مشخصه سخت، به فشار ماهیچه‌ای لازم برای تولید یک واج اشاره دارد. در تولید واج‌های سخت، ماهیچه زبان منقبض و به کام نزدیک می‌شود. واکه‌های فارسی عمدتاً مشخصه [+tense] دارند. ثمره (Samareh, 1999, p. 36-78). این مشخصه را یکی از تمایزات همخوان‌های انسدادی واک‌دار و بی‌واک می‌داند. یعنی انسدادی‌های بی‌واک را دارای مشخصه [+tense] و انسدادی‌های واک‌دار را دارای مشخصه [-tense] می‌داند.

<sup>1</sup> apical

<sup>2</sup> laminal

یازدهم - [RADICAL]؛ واج‌های ریشه‌ای که به آن‌ها [PHARYNGEAL] یا حلقی نیز گفته می‌شود، با ریشهٔ زبان تولید می‌شوند (Gussenhoven & Jacobs, 2017, p. 64- 93). واج‌های فارسی، فاقد این مشخصه هستند (Alinezhad, 2016, p. 149).

### ۲.۳. برخی ابزارها و مفاهیم مورد استفاده در پژوهش

در این بخش، به معرفی قواعد واجی و سیستم آی.پی.ای به عنوان دو مفهوم پایه و همچنین پیکره گفتاری فارس دات کوچک به عنوان یک ابزار اساسی مورد استفاده در پژوهش حاضر، پرداخته خواهد شد.

#### ۲.۳.۱. قواعد واجی

قواعد واجی، با استفاده از مشخصه‌های واجی و برخی علائم قراردادی، نمای واجی را به نمای آوایی آن‌ها مربوط می‌سازند. در این قواعد، علامت تبدیل به صورت یک پیکان چپ به راست (→) است. بخش آوایی تغییرکننده، در سمت چپ و چگونگی تغییر و بافت آوایی لازم برای تغییر، در سمت راست پیکان است. جای بخش آوایی مورد نظر، با یک خط تیره (—) نشان داده می‌شود. علامت‌های قاعده‌نویسی در جدول (۱)، نمایش داده شده‌اند (Alinezhad, 2016, p. 106).

جدول ۱: علامت‌های قاعده‌نویسی (Alinezhad, 2016, p. 106)

نشانه	نماد	نشانه	نماد	نشانه	نماد
درب‌گیرندهٔ صورت آوایی	□	واکه	V	درب‌گیرندهٔ صورت واجی	//
مرز ساخت‌واژی	+	از هیچ تا چند همخوان	CO	مرز واژه	#
مرز هجا	\$ یا	نشان‌دهندهٔ ارتباط دو طرفه	<	جایگاه آغازین واژه	#_
وجود چند گزینه	{}	حذف یا نبود واحد واجی	∅	جایگاه پایانی واژه	_#
حضور یا فقدان واحد آوایی	()	همخوان	C		

### ۲.۳.۲. نظام الفبای آوانگاری بین‌المللی

یکی از نظام‌های آوانگاری، آی.پی.ای است که برای همه زبان‌های دنیا قابل استفاده است. در این نظام، علامت‌های آوایی در جدولی معروف به جدول آی.پی.ای گردآوری شده‌اند. در این جدول، دست‌کم دو گونه علامت، از جمله علامت‌های اصلی و علامت‌های زیر و زبری مشاهده می‌شود. برای نمایش واج‌ها که آوانگاری کلی نام دارد، از علامت‌های اصلی و برای نمایش واج‌گونه‌ها یا آوانگاری تفصیلی، از نشانه‌های زیر و زبری استفاده می‌شود. مانند نمایش واجی «cat» به صورت /cat/، آوانگاری کلی آن، [kat] و آوانگاری تفصیلی آن، [kʰat] است. علامت [h] در آوانگاری تفصیلی، نمایانگر دمیده بودن [k] است (Ladefoged & Johnson, 2014, p. 47; Gussenhoven & Jacobs, 2017, p. 15).

### ۲.۳.۳. پیکره‌گفتاری فارسی دات کوچک

پیکره فارسی دات کوچک، نخستین پیکره‌گفتاری استاندارد در زبان فارسی است که با هدف مطالعه مبنای و مدل‌سازی آکوستیکی زبان فارسی به منظور استفاده در پروژه‌های پردازش گفتار، به وسیله پژوهشگاه توسعه فناوری‌های پیشرفته خواجه نصیر طوسی تولید شده‌است. این پیکره متشکل از ۶۰۸۰ جمله با گویش‌های رایج فارسی است و همه جمله‌های آن، در سطح واژه و واج، تقطیع و برچسب‌گذاری شده‌اند. به همین سبب، در پژوهش حاضر، از آن به عنوان پیکره واجی نیز یاد شده‌است (Bijankhanet al., 1994).

### ۳. مروری بر پژوهش‌های پیشین

همان‌گونه که پیش‌تر نیز اشاره شد، واج‌گونه‌ها فرآورده دست‌بندی حالت‌های گوناگون یک واج، بر مبنای بافت‌های مختلف وقوع آن واج هستند. در این مقاله، پژوهش‌های مرتبط با واج‌گونه‌ها در دو دسته کلی، مورد بررسی قرار می‌گیرند: الف. پژوهش‌های مربوط به واج‌گونه‌های فارسی؛ ب. پژوهش‌های مربوط به برچسب‌گذاری واج‌گونه‌ای پیکره‌ها.

الف. در بحث شناسایی واج‌گونه‌ها، در زبان فارسی پژوهش‌های گوناگونی انجام گرفته‌است. برخی پژوهشگران مانند سپنتا (Sepanta, 1998) و ثمره (Samareh, 1999) به بررسی واج‌گونه‌های تمام واج‌ها در زبان فارسی پرداخته‌اند. هر چند این بررسی‌ها مبنای آزمایشگاهی و آکوستیکی قدرتمندی ندارند اما از جنبه جامع بودن و پوشش دهی تمام واج‌های فارسی، منبع‌های ارزشمندی در بحث واج‌گونه‌ها به شمار می‌روند؛ ضمن اینکه در بسیاری از موارد، یافته‌های پژوهش‌های آکوستیکی جدید، تأییدکننده درستی مطالب آن‌هاست. افزون بر این دو کتاب، در

کتاب‌های دیگری مانند دیهیم (Deihaim, 1979)، یارمحمدی (Yarmohammadi, 1985)، بیجن‌خان (Bijankhan, 2005)، مشکوٰۃ‌الدینی (Meshkato Dini, 2009) (۱۳۸۸)، مدرسی قوامی (Modarresi Ghavami, 2011)، حق‌شناس (Haghshenas, 2013)، کردزعفزانلو کامبوزیا (Kodr Zafaranloo Kambozia, 2013)، بیجن‌خان (Bijankhan, 2013)، نوربخش (Noorbakhsh, 2013)، علی‌نژاد و حسینی بالام (Alinezhad & Hosseini Balam, 2013) و علی‌نژاد (Alinezhad, 2016) نیز به طور پراکنده به بحث واج‌گونه‌ها اشاره شده‌است. همچنین در دهه اخیر، پژوهش‌های آزمایشگاهی گوناگونی در پیوند با واج‌گونه‌ها آغاز شده و در مقاله‌هایی مانند صادقی (Sadeghi, 2010)، علی‌نژاد (Alinezhad, 2010)، نوربخش و همکاران (Noorbakhsh et al., 2010)، زاهدی و فخاریان (Zahedi & Fakharian, 2010)، علی‌نژاد و میرسعیدی (Alinezhad & Mirsaedi, 2014) و نوربخش (Noorbakhsh, 2015) گزارش شده‌است.

ب. روش‌های گوناگونی برای دسته‌بندی حالات یک واج بر اساس بافت وقوع آن، وجود دارد. بر مبنای یک دسته‌بندی کلی (از جنبهٔ رایانشی)، می‌توان این روش‌ها در دو گروه بانظارت<sup>۱</sup> و بی‌نظارت<sup>۲</sup> قرار داد. رویکردهای قاعده‌بنیاد رایج در زبان‌شناسی، نمونه‌ای از روش‌های بانظارت (Imedjdouben & Houacine, 2015) و الگوریتم‌های خوشه‌بندی (Sameti & Bahgrani, 2005)، نمونه‌ای از روش‌های بی‌نظارت هستند. یکی از مشکلات به‌کارگیری روش دسته‌بندی بی‌نظارت، مشکل تعیین تعداد دسته‌ها برای هر واج است. در نبود اطلاعات زبان‌شناسی، روشی برای تعیین قطعی تعداد دسته‌های مناسب برای هر واج وجود ندارد. همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، هدف این پژوهش، برجسب‌گذاری واج‌گونه‌ای پیکره گفتاری فارسی‌دات کوچک بر اساس نظام آی.پی.ای است. همچنین، بهترین روش برای دسته‌بندی حالت‌های گوناگون یک واج، استفاده از برخی قواعد استخراج شده از دانش زبان‌شناسی است تا بتوان چگونگی تأثیرپذیری یک واج از واج‌های اطرافش را تعیین و بر اساس بافت، هر واج را به چند دسته گروه‌بندی کرد (Sameti & Bahrani, 2005). یکی از برجسته‌ترین پژوهش‌های انجام‌شده با استفاده از روش بانظارت، مطالعه ایمدجی‌داوین و هاویسن (Imedjdouben & Houacine, 2015) است. آن‌ها در مقاله‌ای با موضوع «تولید واج‌گونه‌ها در زبان عربی به‌منظور سنتز گفتار»، قواعد لازم را برای تبدیلات واجی- واج‌گونه‌ای در زبان عربی، شناسایی و معرفی کرده‌اند. در پژوهش آن‌ها، نظام تولیدکننده واج‌گونه‌ها، واج‌ها را به‌عنوان ورودی دریافت

<sup>1</sup> supervised

<sup>2</sup> unsupervised

می‌کند؛ سپس با استفاده از قواعد واجی در زبان عربی (که در مقاله‌شان معرفی کرده‌اند)، آن‌ها را به واج‌گونه تبدیل می‌کند. پیکره تهیه‌شده به این روش در پردازش گفتار، به کار گرفته می‌شود.

#### ۴. روش پژوهش و یافته‌ها

در این پژوهش، نخست با بررسی منابع زبان‌شناسی موجود در زبان فارسی، واج‌گونه‌های معرفی شده برای واج‌های مختلف و بافت و در نتیجه قاعده وقوع هر واج‌گونه، استخراج شده‌است. از آن جا که پیاده‌سازی بافت وقوع برخی واج‌گونه‌ها نیازمند افزودن برخی امکانات جدید به پیکره واجی بوده‌است، نخست سعی شده که این امکانات در پیکره واجی ایجاد شود. برای نمونه، برای تعریف برخی بافت‌ها در برنامه، نیاز به مشخص بودن موقعیت واج‌ها در هجا و واژه بوده‌است. به این منظور، موقعیت واج‌ها در واژه، با انجام برخی پیش‌پردازش‌ها بر روی تقطیع واژه‌ای موجود در پیکره واجی اولیه، مشخص شده‌است. سپس، به منظور تعیین موقعیت واج‌ها در هجا، آن چنان که در بخش (۴-۳) شرح داده شده، از یک روش خودکار استفاده شده‌است. در گام پسین، برنامه شناسایی واج‌گونه‌های مختلف موجود در پیکره واجی، پیاده‌سازی و بر آن اعمال شده‌است. رویکرد مورد استفاده در این برنامه، رویکردی قاعده-بنیاد و زبان‌مورد استفاده در پیاده‌سازی، زبان برنامه‌نویسی پایتون<sup>۱</sup> است. با اجرای این برنامه بر روی پیکره فارسی‌دات، هر یک از واج‌های این پیکره برچسب واج‌گونه‌ای ویژه‌ای به خود گرفته‌اند و به این ترتیب، پیکره واج‌گونه‌ای فارسی‌دات تولید شده‌است. از این پیکره واج‌گونه‌ای می‌توان برای آموزش مدل در نظام‌های بازشناسی گفتار، آوانگاری کلی و تفصیلی، نظام‌های تبدیل متن به گفتار و سایر پژوهش‌های مرتبط با پردازش گفتار، استفاده کرد و نرم‌افزارهای گوناگونی تولید کرد. بنابراین پژوهش حاضر، پژوهشی کاربردی است. در ادامه این بخش، اقدام‌های انجام‌شده در این مطالعه و یافته‌های به‌دست آمده، ارائه خواهد شد.

#### ۴. ۱. معرفی واج‌گونه‌های زبان فارسی

پژوهش‌های پراکنده‌ای در پیوند با واج‌گونه‌ها انجام شده‌است. با این وجود، تا پیش از نگارش مقاله حاضر، پژوهش‌های مورد اشاره، به شیوه مناسبی گردآوری و تدوین نشده بودند و فهرست جامعی از واج‌گونه‌ها در دسترس نبود. به این معنا که لازمه برچسب‌گذاری واج‌گونه‌ای پیکره واجی، دست‌یابی به فهرست واج‌گونه‌ها و بافت وقوع آن‌ها بود. بنابراین در این پژوهش پیش از هر اقدام

<sup>۱</sup> Python

دیگری، با انجام یک بررسی همه‌جانبه، مهم‌ترین منابع فارسی قابل دسترس در زمینه واج‌گونه‌ها ( Bijankhan, 2005; Bijankhan, 2013; Samareh, 1999; Haghshenas, 2013; Deihaim, 1979; Sepanta, 1998; Alinezhad & Hosseini Balam, 2013; Alinezhad, 2016; Kodr Zafaranloo Kambozia, 2013; Modarresi Ghavami, 2011; Meshkato Dini, 2009; Yarmohammadi, 1985; Mirsaedi, 2011; Bijankhan, 2001; Zahedi & Fakharian, 2010; Sadeghi, 2007; Sadeghi, 2010; Alinezhad, 2010; Modarresi Ghavami, 2011; Norbakhsh, 2015; Sharifi & Sadeghi, 2007)، مورد بررسی قرار گرفته‌است. پس از بررسی و مقایسه دیدگاه‌ها و تحلیل‌های زبان‌شناس‌های گوناگون، نتیجه‌گیری نهایی به وسیله نگارندگان انجام گرفته‌است. در نتیجه‌گیری پایانی، معیار انتخاب واج‌گونه‌ها و نام‌گذاری و علامت‌گذاری آن‌ها، استانداردهای ارائه شده در نظام آی.پی.ای بوده‌است. به این منظور، پس از بررسی آثار یادشده، واج‌گونه‌های مورد اشاره در هر منبع و بافت وقوع هر واج‌گونه استخراج شده‌است. سپس، این واج‌گونه‌ها با هم مطابقت داده شده و ضمن یکسان‌سازی نام‌های قدیمی با معادل‌های به‌کار رفته در منابع جدیدتر، علامت‌های مربوط به هر یک، بر اساس جدول آی.پی.ای مناسب‌سازی شده‌است. واج‌گونه‌هایی که برای آن‌ها معادلی در جدول آی.پی.ای یافت نشد، از فهرست اولیه واج‌گونه‌ها حذف شده‌اند. در برخی منابع، برای واج‌گونه‌ها نامی متفاوت با نام استاندارد معرفی شده در جدول آی.پی.ای در نظر گرفته شده‌است. برای نمونه در پیوند با برخی واج‌ها از جمله /p, b, t, .../ واج‌گونه‌ای به نام بدون انجام یا تولید ناقص معرفی شده‌است ( Samareh, 1999, p. 37-79; Modarresi Ghavami, 2011, p. 72). با توجه به بافت پیش فرض وقوع این واج‌گونه، در فرایند تطبیق‌دهی، معادل با « *No audible release* » در جدول آی.پی.ای در نظر گرفته شده و نام بدون رهش یا نارهییده به آن اختصاص یافته‌است. به دلیل مشابه، به واج‌گونه‌گرد در ثمره ( Samareh, 1999, p. 37-79) که معادل « *Labialized* » در جدول آی.پی.ای است، نام لبی‌شده و به واج‌گونه‌های خیشومی بدون انجام و کناری بدون انجام ثمره (همان)، به ترتیب نام‌های رهش خیشومی<sup>۱</sup> و رهش کناری<sup>۲</sup> تعلق یافته‌است. در ادامه، برای هر واج، واج‌گونه‌ای به نام سایر در نظر گرفته شده‌است و هر یک از واج‌ها در بافتی به جز بافت‌های واج‌گونه‌ای مشخص شده برای آن‌ها، در این دسته قرار گرفته‌اند. همچنین، علامت کلی هر واج به این دسته اختصاص یافته‌است. در این میان، معرفی واج‌گونه‌هایی که تعریف شرایط وقوع آن‌ها نیازمند امکاناتی فراتر از امکانات فعلی پژوهش بوده،

<sup>۱</sup> nasal release

<sup>۲</sup> lateral release

نادیده گرفته شده‌است تا این واج‌گونه‌ها نیز در دسته سایر قرار گیرند؛ برای نمونه، با توجه به امکانات فعلی پیکره فارس‌دات کوچک، تشخیص هجاهای تکیه‌دار ممکن نبوده‌است؛ بنابراین در رویارویی با بافت‌هایی که بر اساس هجاهای تکیه‌دار تعریف می‌شده‌اند، همه بافت نادیده گرفته شده و واج‌گونه‌های مربوط به آن بافت، در دسته سایر قرار گرفته‌اند. به این ترتیب، مجموعه مدونی از واج‌گونه‌های معرفی شده در منبع‌های گوناگون فارسی، علامت استاندارد بین‌المللی مربوط به هر یک و مناسب‌ترین نام پیشنهاد شده برای هر کدام به دست آمده‌است. با پیشرفت پیکره فعلی در آینده (برای نمونه مشخص شدن جایگاه‌های تکیه در آن) امکان بهبود برنامه، مطابق با شرایط و امکانات جدید، فراهم است. در جدول (۲)، مهم‌ترین واج‌گونه‌های فارسی با جداسازی هر واج، ارائه شده‌است. پیش از آن، برای نشان دادن کاربرد مشخصه‌های واج‌گونه‌ای معرفی شده در پژوهش حاضر در پیوند با نمایش قواعد واجی، قواعد مربوط به وقوع واج‌گونه‌های واج /p/ نمایش داده شده‌است:

۱. [p<sup>h</sup>] (دمیده): در آغاز واژه. مانند: پر

$$\begin{bmatrix} +\text{cons} \\ -\text{cont} \\ -\text{voice} \\ \text{LAB} \end{bmatrix} \rightarrow [+ \text{spread glottis}] / \# -$$

۲. [p<sup>w</sup>] (لبی شده): پیش از /O, u, ʊ/. برای نمونه: پل، پول، پا

$$\begin{bmatrix} +\text{cons} \\ -\text{cont} \\ -\text{voice} \\ \text{LAB} \end{bmatrix} \rightarrow [+ \text{round}] / - \begin{bmatrix} -\text{cons} \\ +\text{tense} \\ +\text{back} \end{bmatrix}$$

۳. [p<sup>ʔ</sup>] (بدون رهش): پیش از /m, b, p/. مانند: سوپ می‌خوره، توپ‌بازی

$$\begin{bmatrix} +\text{cons} \\ -\text{cont} \\ -\text{voice} \\ \text{LAB} \end{bmatrix} \rightarrow [+ \text{NoAudibleRelease}] / - \begin{bmatrix} + \text{cons} \\ - \text{cont} \\ \text{LAB} \end{bmatrix}$$

۴. [p<sup>n</sup>] (رهش خیشومی): پیش از /m, n/. مانند: توپ نیست، سوپ می‌خوره

$$\begin{bmatrix} +\text{cons} \\ -\text{cont} \\ -\text{voice} \\ \text{LAB} \end{bmatrix} \rightarrow [+ \text{NasalRelease}] / - \begin{bmatrix} +\text{cons} \\ +\text{nasal} \end{bmatrix}$$

۵. [p<sup>l</sup>] (رهش کناری): پیش از یک همخوان کناری مانند /l/. برای نمونه: توپ له شد، کاپلان

$$\begin{bmatrix} +\text{cons} \\ -\text{cont} \\ -\text{voice} \\ \text{LAB} \end{bmatrix} \rightarrow [+ \text{LateralRelease}] / - [+ \text{lat}]$$

۶. [p] (سایر): در صورتی که شرایط وقوع سایر واج‌گونه‌ها برقرار نباشد.

### جدول ۲: مهم‌ترین واج‌گونه‌های فارسی به تفکیک واج‌های مختلف

واج	واج‌گونه‌های مهم	واج	واج‌گونه‌های مهم
/ʃ/	۱. [ʃ <sup>w</sup> ] (لیبی شده) الف) پیش از /O, u, D/ مانند: شور، شکر ۲. [ʃ] (سایر) الف) اگر شرایط وقوع سایر واج‌گونه‌ها برقرار نباشد.	/ʒ/	۱. [ʒ] (بی‌واک شده) الف) و (ب) در خوشه‌ها، پیش و پس از همخوان‌های بی‌واک. ۲. [ʒ] (واک‌رفته) الف) در ابتدای واژه. مانند: ژیان. ۳. [ʒ <sup>w</sup> ] (لیبی شده) الف) پیش از /O, u, D/ مانند: ژولیده، ژورژت ۴. [ʒ] (سایر) الف) اگر شرایط سایر واج‌گونه‌ها برقرار نباشد.
/s/	۱. [s <sup>w</sup> ] (لیبی شده) الف) پیش از /O, u, D/ مانند: سرخ، صورت ۲. [s] (سایر) الف) اگر شرایط وقوع سایر واج‌گونه‌ها برقرار نباشد.	/z/	۱. [s] (بی‌واک شده) الف) و (ب) در خوشه‌ها، پیش و پس از همخوان‌های بی‌واک. ۲. [z] (واک‌رفته) الف) در ابتدای واژه. مانند: زرد ۳. [z <sup>w</sup> ] (لیبی شده) الف) پیش از /O, u, D/ مانند: زود، ذرت ۴. [z] (سایر) الف) اگر شرایط سایر واج‌گونه‌ها برقرار نباشد.
/f/	۱. [f <sup>w</sup> ] (لیبی شده) الف) پیش از /O, u, D/ مانند: فحش ۲. [f] (سایر) الف) در صورتی که شرایط سایر واج‌گونه‌ها برقرار نباشد.	/v/	۱. [f] (بی‌واک شده) الف) و (ب) در خوشه‌ها، پیش و پس از همخوان‌های بی‌واک. ۲. [v] (واک‌رفته) الف) در ابتدای واژه. مانند: واگن ۳. [v <sup>w</sup> ] (لیبی شده) الف) پیش از /O, u, D/ مانند: وراث، وول می‌خوره ۴. [v] (سایر) الف) اگر شرایط سایر واج‌گونه‌ها برقرار نباشد.
/h/	۱. [h <sup>w</sup> ] (لیبی شده) الف) پیش از /O, u, D/ مانند: هوش، هنر ۲. [h] (سایر) الف) اگر شرایط وقوع سایر واج‌گونه‌ها برقرار نباشد.	/ʔ/	۱. [ʔ] (بدون رهش) الف) / پیش از [ʔ] مانند: محجّد ۲. [ʔ <sup>m</sup> ] (رهش خیشومی) الف) / پیش از /m, n/ مانند: طعنه ۳. [ʔ <sup>l</sup> ] (رهش کناری) الف) / پیش از همخوان کناری /l/ مانند: اعلا ۴. [ʔ] (سایر) الف) / اگر شرایط وقوع سایر واج‌گونه‌ها برقرار نباشد.
/tʃ/	۱. [tʃ <sup>w</sup> ] (لیبی شده) الف) پیش از /O, u, D/ مانند: چوب، چرت ۲. [tʃ] (بدون رهش) الف) پیش از /dʒ, tʃ/ مانند: هیچی، هیچ‌جا ۳. [tʃ] (سایر) الف) در صورتی که شرایط سایر واج‌گونه‌ها برقرار نباشد.	/dʒ/	۱. [tʃ] (بی‌واک شده) الف) و (ب) در خوشه‌های پیش و پس از همخوان‌های بی‌واک. ۲. [dʒ] (واک‌رفته) الف) در ابتدای واژه. مانند: جزوه ۳. [dʒ <sup>w</sup> ] (لیبی شده) الف) پیش از /O, u, D/ مانند: جوراب ۴. [dʒ <sup>l</sup> ] (بدون رهش) الف) پیش از /tʃ, dʒ/ مانند:



واج	واج گونه‌های مهم	واج	واج گونه‌های مهم
	<p>کج چه</p> <p>۵. [ʒ] (سایشی شده) الف پیش از /d/. مانند:</p> <p>مجد</p> <p>۶. [ʃ] (سایشی بی‌واک شده)</p> <p>الف پیش از /t/. مانند: مجتبی، اجتناب</p> <p>۷. [dʒ] (سایر)</p> <p>الف اگر شرایط وقوع سایر واج‌گونه‌ها برقرار نباشد.</p>		
/k/	<p>۱. [q] (واک رفته)</p> <p>الف پیش از واکه‌های پسین، در آغاز واژه. مانند:</p> <p>گاو، گل</p> <p>۲. [g] (سایر)</p> <p>الف پیش از واکه‌های پسین به جز در ابتدای واژه</p>	/g/	<p>۱. [kʰ] (دمیده)</p> <p>الف پیش از واکه‌های پسین، در آغاز واژه. مانند: کار</p> <p>۲. [k] (سایر)</p> <p>الف پیش از واکه‌های پسین /d, O, u/ جز در ابتدای واژه</p>
/t/	<p>۱. [tʰ] (بی‌واک شده)</p> <p>الف در خوشه‌ها، پس از واج بی‌واک غیر سایشی و غیر انسایشی</p> <p>ب) در خوشه‌ها، پیش از همخوان‌های بی‌واک.</p> <p>۲. [t] (واک رفته)</p> <p>الف در آغاز واژه. مانند: دود</p> <p>۳. [t̚] (بدون رهش)</p> <p>الف پیش از /t, d, n, m, l/. مانند: بدتر، شدت</p> <p>۴. [t̚ʷ] (لی‌شده)</p> <p>الف پیش از /O, u, d/. مانند: دوراهی، دور</p> <p>۵. [t̚ʰ] (رهش خیشومی)</p> <p>الف / پیش از /m, n/ مانند: بد نیست</p> <p>۶. [t̚ʰ] (رهش کناری)</p> <p>الف پیش از همخوان کناری /l/. مانند: مدلول</p> <p>۷. [d̚ʰ] (لثوی بدون رهش)</p> <p>الف پیش از /ʃ, s, z, ʒ, dʒ/. مانند: سودجو، خودچی</p> <p>۸. [∅]</p> <p>الف در جایگاه دوم پایانه هجا پس از سایشی‌ها و انسایشی‌ها. مانند: دستگیره</p> <p>۸. [t̚ʰ] (سایر)</p> <p>الف اگر شرایط وقوع سایر واج‌گونه‌ها برقرار نباشد.</p>	/d/	<p>۱. [tʰ] (دمیده)</p> <p>الف در آغاز واژه. مانند: توت</p> <p>۲. [tʰʷ] (لی‌شده)</p> <p>الف پیش از /O, u, d/. مانند: تور، ترک، تاریک</p> <p>۳. [t̚ʰ] (بدون رهش)</p> <p>الف پیش از /t, d, n, m, l/. مانند: امانت‌دار، حتی</p> <p>۴. [t̚ʰ] (رهش خیشومی)</p> <p>الف پیش از /n, m/. مانند: فتنه، اتمام</p> <p>۵. [t̚ʰ] (رهش کناری)</p> <p>الف / پیش از همخوان کناری /l/. مانند: سطل، بطلان</p> <p>۶. [t̚ʰ] (لثوی بدون رهش)</p> <p>الف پیش از /ʃ, s, z, ʒ, dʒ/. مانند: عطشان، عطسه، ساعتچی، سخت‌جان</p> <p>۷. [∅]</p> <p>الف در جایگاه دوم پایانه هجا پس از سایشی‌ها و انسایشی‌ها. مانند: دستگیره</p> <p>۸. [t̚ʰ] (سایر)</p> <p>الف اگر شرایط وقوع سایر واج‌گونه‌ها برقرار نباشد.</p>
/c/	<p>۱. [cʰ] (بی‌واک شده)</p> <p>الف و ب) در خوشه‌ها، پیش و پس از همخوان بی‌واک.</p> <p>۲. [tʰ] (واک رفته)</p> <p>الف در ابتدای واژه. مانند: گیوه</p> <p>۳. [t̚ʰ] (بدون رهش)</p> <p>الف پیش از /c, ʃ/. مانند: سنگ‌گره</p> <p>۴. [t̚ʰ] (نرمکامی بدون رهش)</p> <p>الف پیش از /g, k/. مانند: سنگ‌کارد</p> <p>۵. [t̚ʰ] (رهش خیشومی)</p>	/ʃ/	<p>۱. [cʰ] (دمیده)</p> <p>الف آغاز واژه، پیش از واکه‌های پیشین. مانند: کرم</p> <p>۲. [cʰ] (بدون رهش)</p> <p>الف پیش از /c, ʃ/. مانند: یک گرم، مکه</p> <p>۳. [kʰ] (نرمکامی بدون رهش)</p> <p>الف پیش از /g, k/. مانند: یک گاو، یک کار</p> <p>۴. [cʰ] (رهش خیشومی)</p> <p>الف پیش از /m, n/. مانند: تکمیل</p>

واج	واج گونه‌های مهم	واج	واج گونه‌های مهم
	<p>الف) پیش از /m, n/. مانند: سوگنامه</p> <p>۶. [tʰ] (رهش کناری)</p> <p>الف) پیش از همخوان کناری /l/. مانند: سنگ‌لايه</p> <p>۷. [ʃ] (سایر)</p> <p>الف) پیش از واکه‌های پیشین /a, e, i/. مانند: تگرگ</p> <p>ب) پیش از دیگر همخوان‌ها به جز /k, g/. مانند: رگبار، برگ‌ریزان</p> <p>ج) در پایان هجا. مانند: تنگ</p>		<p>۵. [tʰ] (رهش کناری)</p> <p>الف) پیش از همخوان کناری /l/. مانند: اکلیل</p> <p>۶. [c] (سایر)</p> <p>الف) پیش از واکه‌های پیشین /a, e, i/. مانند: مکش</p> <p>ب) پیش از دیگر همخوان‌ها به جز /k, g/. مانند: تک‌سوار</p> <p>ج) در پایان هجا. مانند: نوک، تک</p>
	<p>۱. [p] (بی‌واک‌شده)</p> <p>الف) در خوشه‌ها، پیش از همخوان‌های بی‌واک. مانند: حبس</p> <p>ب) در خوشه‌ها، پس از همخوان‌های بی‌واک. مانند: نصب</p> <p>۲. [b] (واک‌رفته)</p> <p>الف) در آغاز واژه. مانند: بود</p> <p>۳. [bʰ] (بدون رهش)</p> <p>الف) پیش از /m, b, p/. مانند: آب‌میوه، حبه، شب‌پره</p> <p>۴. [bʷ] (لیبی‌شده)</p> <p>الف) پیش از /o, u, ʊ/. مانند: برد، بود، باد</p> <p>۵. [bʳ] (رهش خیشومی)</p> <p>الف) پیش از /m, n/. مانند: شبنم، آب‌میوه</p> <p>۶. [bʲ] (رهش کناری)</p> <p>الف) پیش از همخوان کناری /l/. مانند: قابلمه</p> <p>۷. [b] (سایر)</p> <p>الف) اگر شرایط وقوع سایر واج‌گونه‌ها برقرار نباشد.</p>	/b/	<p>۱. [pʰ] (دمیده)</p> <p>الف) در آغاز واژه. مانند: پر</p> <p>۲. [pʷ] (لیبی‌شده)</p> <p>الف) پیش از /o, u, ʊ/. مانند: پل، پول، پا</p> <p>۳. [pʳ] (بدون رهش)</p> <p>الف) پیش از /m, b, p/. مانند: سوپ می‌خوره، توپ‌بازی</p> <p>۴. [pʳ] (رهش خیشومی)</p> <p>الف) پیش از /m, n/. مانند: توپ نیست، سوپ می‌خوره</p> <p>۵. [pʲ] (رهش کناری)</p> <p>الف) پیش از یک همخوان کناری مانند /l/. مانند: توپ له شد، کاپلان</p> <p>۶. [p] (سایر)</p> <p>الف) اگر شرایط وقوع سایر واج‌گونه‌ها برقرار نباشد.</p>
	<p>۱. [m] (لیبی)</p> <p>الف) پیش از همخوان‌های لیبی یعنی /m, b, p/. مانند: شنبه</p> <p>۲. [ŋ] (واک‌رفته)</p> <p>الف) در خوشه‌ها، پس از یک همخوان. مانند: جشن، متن</p> <p>۳. [mʷ] (لیبی‌شده)</p> <p>الف) پیش از /o, u, ʊ/. مانند: نور</p> <p>۴. [ŋ] (دندانی)</p> <p>الف) پیش از /d, ʒ, ʒ/. مانند: صندلی، سنتور</p> <p>۵. [m] (لب‌دندانی)</p> <p>الف) پیش از /v, f/. مانند: عنوان، انفال</p> <p>۶. [ɱ] (سخت‌کامی)</p> <p>الف) پیش از /ʃ, c, ʒ/. مانند: عنکبوت، سنگین، بنیامین</p> <p>۷. [ŋ] (نرم‌کامی)</p> <p>الف) پیش از /k, g/. مانند: انکار، انگور</p> <p>۸. [N] (ملازی)</p>	/n/	<p>۱. [ŋ] (واک‌رفته)</p> <p>الف) در خوشه‌های همخوانی، پس از یک همخوان. مانند: اسم، حتم</p> <p>۲. [mʷ] (لیبی‌شده)</p> <p>الف) پیش از /o, u, ʊ/. مانند: مار</p> <p>۳. [ŋ] (لب‌دندانی)</p> <p>الف) پیش از /v, f/. مانند: اموال، سمفونی</p> <p>۴. [m] (سایر)</p> <p>الف) در صورتی که شرایط وقوع سایر واج‌گونه‌ها برقرار نباشد.</p>

واج	واج گونه‌های مهم	واج	واج گونه‌های مهم
	الف) پیش از /g, ɣ/ مانند: منقل، خونخوار ۹. [n] (سایر) الف) اگر شرایط وقوع سایر واج گونه‌ها برقرار نباشد.		
/ɣ/	۱. [g] (واک‌رفته) الف) در آغاز واژه. مانند: قرمز ب) در خوشه‌ها، پیش از واج بی‌واک. مانند: سقف ج) در خوشه‌ها پس از واج بی‌واک. مانند: مشق ۲. [gʷ] (لیبی شده) الف) پیش از /O, u, D/ مانند: قوری ۳. [gʷ] (بدون رهش) الف) پیش از /G/ مانند: رقت ۴. [Gʰ] (رهش خیشومی) الف) پیش از /m, n/ مانند: اغنا ۵. [Gʰ] (رهش کناری) الف) پیش از همخوان کناری /l/ مانند: باقلوا ۶. [ɬ] (سایشی) الف) در بین دو همخوان واک‌دار یا واکه. مانند: مرغزار ۷. [ɣ] الف) پیش از /t, s, ʃ, ʒ/ مانند: تبدیل بقیچه به بخچه. ۸. [G] (سایر) / الف) اگر شرایط سایر واج گونه‌ها برقرار نباشد.	/g/	۱. [ɣʷ] (لیبی شده) الف) پیش از /O, u, D/ مانند: خرما، خوشه ۲. [ɣ] (سایر) الف) در صورتی که شرایط سایر واج گونه‌ها برقرار نباشد.
/j/	۱. [j] (واک‌رفته) الف) در خوشه‌ها، پس از همخوان بی‌واک. مانند: نفی ۲. [jʷ] (لیبی شده) الف) پیش از /O, u, D/ مانند: بونس ۳. [j] (سایر) الف) اگر شرایط وقوع سایر واج گونه‌ها برقرار نباشد.		۱. [j] (واک‌رفته) الف) در خوشه‌ها، پس از یک همخوان. مانند: چتر ۲. [ɟ] (زنتی) الف) بین دو واکه‌ای که همزمان /i/ نباشند. مانند: آرا. ۳. [jʷ] (لیبی شده) الف) پیش از /O, u, D/ مانند: رود، ریشه ۴. [j] (سایر) الف) اگر شرایط وقوع سایر واج گونه‌ها برقرار نباشد.
/r/	۱. [r] (لرزشی واک‌رفته) الف) در خوشه‌ها، پس از یک همخوان. مانند: چتر ۲. [r] (زنتی) الف) بین دو واکه‌ای که همزمان /i/ نباشند. مانند: آرا. ۳. [rʷ] (لیبی شده) الف) پیش از /O, u, D/ مانند: رود، ریشه ۴. [r] (سایر) الف) اگر شرایط وقوع سایر واج گونه‌ها برقرار نباشد.	/l/	۱. [l] (واک‌رفته) الف) در خوشه‌ها، پس از همخوان. مانند: سطل ۲. [lʷ] (لیبی شده) الف) پیش از /O, u, D/ مانند: لوله ۳. [l] (سایر) الف) اگر شرایط وقوع سایر واج گونه‌ها برقرار نباشد.
/i/	۱. [i] (خیشومی شده) الف) پیش از /m, n/ مانند: ایمان ب) پس از /m, n/ مانند: مینا ۲. [i] (سایر)	/u/	۱. [i] (خیشومی شده) الف) پیش از /m, n/ مانند: ایمان ب) پس از /m, n/ مانند: مینا ۲. [i] (سایر)
/e/	۱. [e] (واک‌رفته) الف) پیش از /m, n/ مانند: عمان ب) پس از /m, n/ مانند: معین ۲. [e] (سایر)	/o/	۱. [e] (واک‌رفته) الف) پیش از /m, n/ مانند: عماد ب) پس از /m, n/ مانند: مداد ۲. [e] (سایر)
/a/	۱. [a] (واک‌رفته) الف) پیش از /m, n/ مانند: آمپول ب) پس از /m, n/ مانند: سماور ۲. [a] (سایر)	/ɒ/	۱. [ã] (واک‌رفته) الف) پیش از /m, n/ مانند: انگور ب) پس از /m, n/ مانند: نماز ۲. [a] (سایر)

#### ۲.۴. شناسایی مشخصه‌های واج‌گونه‌ای جدید در فارسی

پس از شناسایی واج‌گونه‌های فارسی، با بررسی مشخصه‌های واجی گاسن‌هاون و جیکبز (Gussenhoven & Jacobs, 2017)، این یافته به دست آمد که مشخصه‌های مورد اشاره، به تنهایی برای توصیف فرایندهای مؤثر در تولید واج‌گونه‌ها و ترسیم قواعد واجی آن‌ها در فارسی کافی نیست. در این مطالعه، مشخصه‌های جدیدی پیش‌بینی شده‌است که احتمالاً افزودن آن‌ها به مشخصه‌های گاسن‌هاون و جیکبز (همان) بتواند کفایت لازم را برای نمایش قواعد واجی و واج‌گونه‌ای زبان فارسی ایجاد کند.

یکم - Voiceless: مشخصه‌ای برای نمایش واک‌رفتگی در همخوان‌های واک‌دار، که در تبدیل /b/ به /b̥/، /d/ به /d̥/، /t/ به /t̥/، /g/ به /g̥/، /z/ به /z̥/، /v/ به /v̥/، /dʒ/ به /dʒ̥/، /r/ به /r̥/، /l/ به /l̥/، /m/ به /m̥/ و /n/ به /n̥/ نقش دارد.

دوم - NoAudibleRelease: این مشخصه، به نامحسوس بودن رهش اشاره دارد و زمانی اتفاق می‌افتد که یک انسدادی، پیش از یک انسدادی هم‌جایگاه خود، واقع شود؛ و در تبدیل /p/ به /p̥/، /b/ به /b̥/، /t/ به /t̥/، /d/ به /d̥/، /c/ به /c̥/، /k/ به /k̥/، /ʃ/ به /ʃ̥/، /g/ به /g̥/، /ʒ/ به /ʒ̥/، /ʔ/ به /ʔ̥/، /f/ به /f̥/ و /dʒ/ به /dʒ̥/ نقش دارد.

سوم - Nasal Releases: این مشخصه در تبدیل /p/ به /p̥/، /b/ به /b̥/، /t/ به /t̥/، /d/ به /d̥/، /c/ به /c̥/، /k/ به /k̥/، /ʃ/ به /ʃ̥/، /g/ به /g̥/، /ʒ/ به /ʒ̥/، /ʔ/ به /ʔ̥/، /f/ به /f̥/ و /dʒ/ به /dʒ̥/ نقش دارد و مربوط به هنگامی است که یک همخوان انسدادی پیش از یک همخوان خیشومی باشد و رهش همخوان انسدادی به جای حفره دهان از حفره بینی انجام گیرد.

چهارم - Lateral Release: وقوع همخوان انسدادی پیش از کناری، عامل تولید این واج‌گونه است. در این حالت، هوا در مرحله رهش، به جای مرکز دهان از دو طرف زبان خارج می‌شود. از تأثیرات این مشخصه می‌توان به تبدیل /p/ به /p̥/، /b/ به /b̥/، /t/ به /t̥/، /d/ به /d̥/، /c/ به /c̥/، /k/ به /k̥/، /ʃ/ به /ʃ̥/، /g/ به /g̥/، /ʒ/ به /ʒ̥/، /ʔ/ به /ʔ̥/ اشاره کرد.

پنجم - Deletion (∅): به حالتی اشاره دارد که یک آوا تحت تأثیر آواهای مجاورش حذف شود؛ برای نمونه، در تبدیل /t/ به /t̥/، ∅. این حالت در حذف همخوان پایانی واژه‌های ماست، مُست و موارد مشابه مشاهده می‌شود.

ششم - []: به منظور تعریف واج‌گونه‌ها تمامی تغییرات، نسبت به یک حالت پایه (بی‌نشان) سنجیده می‌شود. هنگامی که وقوع حالت پایه، مستلزم بافت خاصی باشد، از این علامت استفاده می‌شود. کاربرد آن را می‌توان در /c/ مشاهده کرد که در سه موقعیت یعنی پیش از واکه‌های پیشین، پیش از سایر همخوان‌ها به جز /k/ و /g/ و در پایان هجا و کلمه مشاهده می‌شود.

هفتم - Spirantized: مشخصه‌ای که به تبدیل یک واج انسدادی به یک آوای سایشی اشاره دارد. این مشخصه، خود در تبدیل /g/ به [x] و /dʒ/ به [ʒ] و همراه با [-Voice] در تبدیل /g/ به /x/ و /dʒ/ به /ʒ/ دخالت دارد.

هشتم - Tapped: این مشخصه به توصیف تبدیل همخوان لرزشی /r/ به واج گونه‌ی زنشی آن یعنی [ɾ] می‌پردازد.

نهم - LabioDentalized: این مشخصه برای توصیف تبدیل یک واج فاقد جایگاه تولید لب و دندانی (معمولاً /m/ و /n/) به یک آوای دارای جایگاه تولید لب و دندانی معرفی شده‌است و در تبدیل /m/ یا /n/ به [m̠]، نقش دارد.

دهم - Dentalized: مشخصه‌ای برای توصیف تبدیل یک واج فاقد جایگاه تولید دندانی (معمولاً /n/) به یک آوای دارای جایگاه تولید دندانی است. این مشخصه منجر به تبدیل /n/ که یک همخوان لثوی است، به [n̪] می‌شود.

یازدهم - Palatalized: مشخصه‌ای واج گونه‌ای که برای توصیف تبدیل یک همخوان فاقد جایگاه تولید کامی به یک آوای دارای جایگاه تولید کامی به کار می‌رود که می‌توان ردپای آن را در تبدیل /n/ به [ɲ] مشاهده کرد.

دوازدهم - Velarized: مشخصه‌ای است برای توصیف تبدیل یک همخوان فاقد جایگاه تولید نرمکامی به یک آوای دارای جایگاه تولید نرمکامی. تبدیل /n/ به [ŋ] در جایگاه پیش از /k, g/، پیامد تأثیر گذاری این مشخصه است.

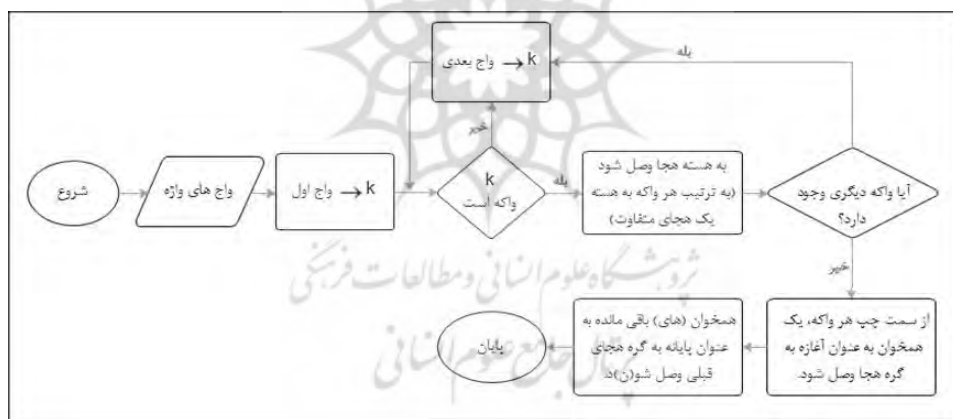
سیزدهم - Uvularized: مشخصه‌ای واج گونه‌ای که برای توصیف تبدیل یک همخوان فاقد جایگاه تولید ملازی به یک آوای دارای جایگاه تولید ملازی به کار می‌رود. در تبدیل /n/ به [N] می‌توان تأثیر این مشخصه را مشاهده کرد.

در نام‌گذاری مشخصه‌های واج گونه‌ای تلاش شده‌است که از نام‌های به‌کاررفته در نظام آی.پی.ای استفاده شود. برای نمونه، در نظام آی.پی.ای واج گونه بدون رهش، با اصطلاح «no audible release» معرفی و علامت «<sup>h</sup>»، برای آن به کار برده می‌شود. در این پژوهش نیز، مشخصه «NoAudibleRelease» به این پدیده اختصاص یافته‌است. برای ساده‌سازی تمایز مشخصه‌های واج گونه‌ای جدید از مواردی بهره گرفته شد که از این قرارداد: مشخصه‌های واجی (شامل مشخصه‌های تک-ارزشی که با حروف بزرگ و مشخصه‌های دو-ارزشی که با حروف کوچک نمایش داده می‌شوند)؛ حرف آغازین تمام واژه‌های هر مشخصه، به صورت بزرگ و سایر حروف به صورت کوچک؛ و واژه‌های مربوط به نام مشخصه که بدون فاصله از هم قرار

داشتند. از مهم‌ترین هم‌تولیدی‌های مؤثر در تولید واج‌گونه‌های فارسی که با نظام آی.پی.ای نیز مطابقت یافته‌است، می‌توان به واک‌رفتگی آواهای واک‌دار، دمش، تولید ناقص، رهش کناری، رهش خیشومی، لثوی شدگی، لبی شدگی یا گردشگی، برای همخوان‌ها و خیشومی شدگی برای واکه‌ها اشاره کرد.

### ۳.۴. تقطیع هجایی پیکره فارس‌دات واجی

یکی از پیش‌نیازهای شناسایی بافت وقوع واج‌گونه‌های گوناگون در پیکره فارس‌دات، تشخیص موقعیت هر یک از واج‌ها در هجا است. به دلیل دشوار بودن تقطیع هجایی پیکره به صورت دستی، برنامه‌ای به این منظور پیاده‌سازی و به کار گرفته شده‌است (Ahmadi, Karshenas, Alinezhad & Naqavi Ravandi, 2018). در این برنامه که برای واج‌نگاشت واژه‌ها یا جمله‌ها است، اصول هجابندی پولگرام<sup>۱</sup> به کار گرفته شده‌است. روند عملکرد این برنامه در شکل (۱)، ارائه شده‌است.



شکل ۱: نمایش اصول هجابندی پولگرام

(Ahmadi, Karshenas, Alinezhad & Naqavi Ravandi, 2018)

### ۴.۴. برچسب‌گذاری واج‌گونه‌ای پیکره فارس‌دات

لازمه افزودن برچسب‌های واج‌گونه‌ای به پیکره واجی، وجود برخی قواعد مبتنی بر بافت وقوع واج‌گونه‌های گوناگون است. مبنای استخراج واج‌گونه‌ها در این پژوهش، ویژگی‌های تولید نخستین واکه‌ها، ویژگی‌های تولید نخستین همخوان‌ها و ویژگی‌های تولید دومین مشترک میان

<sup>1</sup> Pulgram

واکه‌ها و همخوان‌ها در فارسی و مطابقت دادن این ویژگی‌ها با نظام آی.پی.ای است. دقت در قواعد استخراج شده بر این اساس، نشان می‌دهد که مشخصه‌های گاسن‌هاون و جیکبز (Gussenhoven & Jacobs, 2017) برای توصیف وقوع واج‌گونه‌های فارسی، کافی نیست و لازم است مشخصه‌های جدیدی به آن‌ها افزوده شود. سپس، با ایجاد بافت واجی و زبانی لازم برای تحقق واج‌گونه‌ها و اجرای برنامه پیاده‌سازی شده مربوط به تبدیلات واجی-واج‌گونه‌ای بر روی فارس‌دات واجی، پیکره واج‌گونه‌ای تولید می‌شود. در این جا، مبنای انتخاب واج‌گونه‌ها و برچسب‌های واج‌گونه‌ای، نظام آی.پی.ای است. مزیت استفاده از آی.پی.ای، ایجاد امکان استفاده از این پیکره برای علاقه‌مندان به آموزش و نیز یادگیری زبان فارسی، اعم از فارسی‌زبان، غیر فارسی‌زبان، زبان‌شناس و غیر زبان‌شناس است. استفاده از این پیکره واج‌گونه‌ای در یک نظام بازشناسی گفتار، افزایش حدود دو درصدی دقت بازشناسی (Ahmadi et al., 2020) را نسبت به پیکره واجی (Babaali, 2016)، در پی داشته‌است.

## ۵. جمع‌بندی

در این پژوهش، به منظور افزایش دقت و بهبود کارایی نظام‌های مختلف پردازش گفتار، از یک راهکار قاعده-بنیاد برای برچسب‌گذاری واج‌گونه‌های پیکره‌های واجی بهره گرفته شده‌است. برای نمونه، منسجم‌ترین پیکره گفتاری واجی در زبان فارسی (فارس‌دات کوچک) به عنوان زیربنا، انتخاب و برچسب‌های واج‌گونه‌ای به آن افزوده شده‌است. نخست، واج‌گونه‌های مربوط به واج‌های گوناگون زبان فارسی و بافت وقوع هر یک از آن‌ها، استخراج شدند. پس از پیاده‌سازی قواعد تبدیل واج‌ها به واج‌گونه‌ها و اجرای آن بر روی پیکره فارس‌دات واجی، پیکره فارس‌دات واج‌گونه‌ای آماده شده‌است.

## فهرست منابع

- احمدی، طاهره، حسین کارشناس، باقر باباعلی و بتول علی‌نژاد (۱۳۹۹). «بازشناسی خودکار واج‌های فارسی با استفاده از مدل‌سازی واج‌گونه‌ها». *پردازش علائم و داده‌ها*. سال ۱۷. شماره ۳. صص ۵۴-۳۷.
- احمدی، طاهره، حسین کارشناس، بتول علی‌نژاد و مصطفی نقوی راوندی (۱۳۹۶). «تقطیع هجایی خودکار واژه‌های زبان فارسی بر اساس اصول هجابندی پولگرام». *مقاله ارائه شده در پنجمین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در مطالعات زبان*. ۲۶ بهمن ۱۳۹۶. دانشگاه بین‌المللی امام خمینی. تهران.
- باباعلی، باقر (۱۳۹۵). «پایه‌گذاری بستری نو و کارآمد در حوزه بازشناسی گفتار فارسی». *پردازش علائم و داده‌ها*. سال ۱۳. شماره ۳. صص ۵۱-۶۲.

- بحرانی، محمد (۱۳۸۴). به‌کارگیری ساختارهای وابسته به بافت در بازشناسی گفتار پیوسته مبتنی بر مدل مخفی مارکوف. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر. دانشگاه صنعتی شریف.
- بیجن‌خان، محمود (۱۳۷۹). «نظام واج‌گونه‌های زبان فارسی در چارچوب نظریه واج‌شناسی تولیدی». مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تهران. سال ۴۴. شماره ۱۵۶. صص ۹۵-۱۱۷.
- بیجن‌خان، محمود (۱۳۸۴). واج‌شناسی نظریه بهینگی. تهران: سمت.
- بیجن‌خان، محمود (۱۳۹۲). نظام آوایی زبان فارسی. تهران: سمت.
- ثمره، یدالله (۱۳۷۸). آواشناسی زبان فارسی. ج ۲. تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
- حق‌شناس، علی‌محمد (۱۳۹۲). آواشناسی (فونتیک). تهران: آگه.
- دیهیم، گیتی (۱۳۵۸). درآمدی بر آواشناسی عمومی. تهران: دانشگاه ملی ایران.
- زاهدی، کیوان و فیضیه فخاریان (۱۳۹۰). «همگونی همخوان‌ها در زبان فارسی نوین: رویکرد واج‌شناسی هندسه مشخصه‌ها». پژوهش‌های زبان‌شناسی دانشگاه اصفهان. دوره ۳. شماره ۵. صص ۴۷-۶۴.
- سپنتا، ساسان (۱۳۷۷). آواشناسی فیزیکی زبان فارسی. اصفهان: گل‌ها.
- شریفی آتشگاه، مسعود و وحید صادقی (۱۳۹۰). «طراحی الگوریتم بازشناسی واج‌ها با به‌کارگیری همسته‌های آکوستیکی مشخصه‌های واجی». پردازش علائم و داده‌ها. شماره ۱۶. صص ۱۳-۲۸.
- صادقی، وحید (۱۳۸۹). «آواشناسی و واج‌شناسی همخوان‌های چاکنایی». پژوهش‌های زبان‌شناسی دانشگاه اصفهان. سال ۲. شماره ۱. صص ۴۹-۶۲.
- صادقی، وحید (۱۳۸۶). «تأثیر دمش بر تقابل واک‌داری - بی‌واکی انسدادی‌های فارسی». زبان و زبان‌شناسی. صص ۶۵-۸۴.
- صامتی، حسین و محمد بحرانی (۱۳۸۴). «استخراج و مدل‌سازی واحدهای آوایی وابسته به بافت برای بهبود دقت بازشناسی گفتار پیوسته با روش دسته‌بندی واج‌ها». نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران. سال ۳. شماره ۱. صص ۴۵-۵۱.
- علی‌نژاد، بتول (۱۳۸۹). «واک‌داری و دمش در زبان فارسی بر اساس نظریه واج‌شناسی حنجره‌ای». پژوهش‌های زبان‌شناسی دانشگاه اصفهان. شماره ۱. پیاپی ۲. صص ۶۳-۸۰.
- علی‌نژاد، بتول (۱۳۹۵). مبانی واج‌شناسی. اصفهان: دانشگاه اصفهان.
- علی‌نژاد، بتول و عاطفه‌سادات میرسعیدی (۱۳۹۳). «فرایند واجی همگونی همخوان با همخوان در زبان فارسی: بررسی صوت‌شناختی». زبان‌پژوهی. سال ۶. شماره ۱۱. صص ۱۶۳-۱۸۶.
- علی‌نژاد، بتول و فهیمه حسینی‌بالام (۱۳۹۲). مبانی آواشناسی آکوستیکی. اصفهان: دانشگاه اصفهان.
- کرد زعفرانلو کامبوزیا، عالیه (۱۳۹۲). واج‌شناسی رویکردهای قاعده‌بنیاد. تهران: سمت.
- مدرسی قوامی، گلناز (۱۳۸۶). «خنثی‌شدگی تقابل همخوان‌های انسدادی واک‌دار و بی‌واک در زبان فارسی». مجموعه مقالات دانشگاه علامه طباطبائی. شماره ۲۱۹. صص ۴۴۱-۴۵۴.
- مدرسی قوامی، گلناز (۱۳۹۰). آواشناسی: بررسی علمی گفتار. تهران: سمت.



مشکوةالدینی، مهدی (۱۳۸۸). ساخت آوایی زبان. ج ۳. مشهد: دانشگاه فردوسی.  
نوربخش، ماندانا (۱۳۹۲). آواشناسی فیزیکی با استفاده از رایانه. تهران: نشر علم.  
نوربخش، ماندانا (۱۳۹۴). «همخوان ملازی در فارسی معیار». زبان پژوهی. دوره ۷. شماره ۱۵. صص ۱۵۱-۱۷۰.

نوربخش، ماندانا، محمود بیجن خان و حامد رحمانی (۱۳۸۹). «درک زمان شروع واک (وی آتی) در انسدادی های آغازین فارسی معیار». زبان پژوهی. دوره ۱. شماره ۲. صص ۱۷۳-۲۰۳.  
یارمحمدی، لطف الله (۱۳۶۴). درآمدی به آواشناسی. تهران: مرکز نشر دانشگاهی.

## References

- Ahmadi, T., Karshenas, H., Alinezhad, B., & Naqavi Ravandi, M. (2018, February). Automatic syllabification of Persian words based on Pulgram principles. *Paper presented at the Fifth international Conference of Language Studies*. [In Persian].
- Ahmadi, T., Karshenas, H., Babaali, B., & Alinezhad, B. (2020). Automatic recognition of Persian phonemes using allophone modeling. *Research Center of Intelligent Signal Processing*, 17 (3), 37-54 [In Persian].
- Alinezhad, B. (2010). Persian aspiration and voicing in laryngeal phonology. *Journal of Researches in Linguistics*, 1 (2), 63-80 [In Persian].
- Alinezhad, B. (2016). *Fundamentals of phonology*. Isfshsn: University of Isfahan [In Persian].
- Alinezhad, B., & Hosseini Balam, F. (2013). *Fundamentals of acoustic phonetics*. Isfahan: University of Isfahan [In Persian].
- Alinezhad, B., & Mirsaedi, A. (2014). The Phonological process of consonant-to-consonant assimilation in Persian: An acoustic exploration authors. *Journal of Language Research*, 6 (11), 163-183 [In Persian].
- Babaali, B. (2016). A state-of-the-art and efficient framework for Persian speech recognition. *Research Center of Intelligent Signal Processing*, 13(3), 51-62 [In Persian].
- Bahrani, M. (2005). *Using context-dependent structures for continuous speech recognition based on the hidden Markov model*(Master's thesis). Sharif University of Technology, Tehran, Iran [In Persian].
- Bijankhan, M. (2001). Persian allophones system in the framework of articulatory phonemics theory. *Journal of the Faculty of Literature and Humanities*. 44 (156), 95-117 [In Persian].
- Bijankhan, M. (2005). *The phonology of optimality theory*. Tehran: SAMT [In Persian].
- Bijankhan, M. (2013). *Phonetic system of Persian language*. Tehran: SAMT [In Persian].
- Bijankhan, M., Sheikhzadegan, M. J., & Roohani, M. R. (1994). FARSDAT-The speech database of Farsi spoken language. In R. Togneri (Ed.), *Proceedings of the 5<sup>th</sup> Australian International Conference on Speech science and Technology (Vol.2, pp. 826-829)*. Perth: Australian Speech Science and Technology Association.
- Chomsky, N., & Halle, M. (1968). *The sound pattern of English*. New York: Harper and Row.
- Deihaim, G. (1979). *An introduction to general phonetics*. Tehran: National University of Iran [In Persian].
- Gussenhoven, C., & Jacobs, H. (2017). *Understanding phonology*. Abingdon: Routledge.
- Haghshenas, A. M. (2013). *Phonetic*. Tehran: Agah [In Persian].
- Hardcastle, W. J., Laver J., & Gibbon, F.E. (2010). *The handbook of phonetic sciences*. New York: John Wiley & Sons.
- Imedjdouben, F., & Houacine, A. (2015, November). Generation of allophones for speech synthesis dedicated to the Arabic language. Paper presented at *First International Conference on New Technologies of Information and Communication (NTIC)*, Mila, Algeria. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org>

- Kodr Zafaranloo Kambozia, A. (2013). *Phonology rule-based approach*. Tehran: SAMT [In Persian].
- Ladefoged, P., & Johnson, K. (2014). *A course in phonetics*. Canada: Nelson Education.
- Meshkato Dini, M. (2009). *The sound pattern of language*. Mashhad: Ferdowsi University of Mashhad [In Persian].
- Mirsaeidi, A. S. (2011). *Phonetic study of phonological process assimilation and dissimilation in Persian* (PhD dissertation). Isfahan University, Isfahan, Iran [In Persian].
- Modarresi Ghavami, G. (2007). Neutralization of contradiction between voiced and unvoiced stops in Persian. *Journal of Proceeding of Allameh Tabatabaee University*. 219, 441-454 [In Persian].
- Modarresi Ghavami, G. (2011). *Phonetics: The scientific study of speech*. Tehran: SAMT [In Persian].
- Noorbakhsh, M. (2013). Physical phonology using computer. Tehran: Elm [In Persian].
- Noorbakhsh, M., Bijankhan, M., & Rohani, H. (2010). Perception of voice onset time (VOT) in standard Persian initial stops. *Journal of Language Research*, 1 (2), 173-203 [In Persian].
- Norbakhsh, M. (2015). Uvular consonants in standard Persian. *Journal of Language Research* 7 (15), 151-170 [In Persian].
- Retrieved from  
<[https://www.inf.pucrs.br/~propor2010/proceedings/regular\\_papers/VeigaEtAl.pdf](https://www.inf.pucrs.br/~propor2010/proceedings/regular_papers/VeigaEtAl.pdf)>
- Roach, P. (2010). *English phonetics and phonology: A practical course*. Stuttgart: Ernst Klett Sprachen.
- Sadeghi, V. (2007). The effect of aspiration on Persian stop voicing contrast. *Journal of Language and Linguistics*, 65-84 [In Persian].
- Sadeghi, V. (2010). The phonetics and phonology of Persian glottal consonants. *Journal of Researches in Linguistics*. 2 (1), 49-62 [In Persian].
- Samareh, Y. (1999). *Phonetics of Persian language*. Tehran: Academic Publishing Center [In Persian].
- Sameti, H., & Bahrani, M. (2005). Extraction and modeling context dependent phone units for improvement of continuous speech recognition accuracy by clustering. *Journal of Electrical Engineering and Computer Engineering of Iran*, 3 (1), 45-51 [In Persian].
- Sepanta, S. (1998). *Acoustic phonetics of Persian language*. Isfahan: Golha [In Persian].
- Sharifi Atashgah, M., & Sadeghi, V. (2011). Phoneme recognition algorithm design using the acoustic correlates of the phonological features. *Journals of Signal and Data Processing*, 2 (16), 13-28 [In Persian].
- Veiga, A., Candeias, S., Sá, L., & Perdigão, F. (2010, April). Using coarticulation rules in automatic phonetic transcription. *Paper presented at International Conf. on Computational Processing of Portuguese - PROPOR*, 2010. Porto Alegre, Brazil. Retrieved from <https://www.researchgate.net>
- Weisser, M. (2016). *Practical corpus linguistics: An introduction to corpus-based language analysis*. New York: John Wiley & Sons.
- Xu, J., Pan, J., & Yan, Y. (2016). Agglutinative language speech recognition using automatic allophone deriving. *Chinese Journal of Electronics*, 25(2), 328-333.
- Yarmohammadi, L. (1985). *An introduction to phonetics*. Tehran: University Publication Center [In Persian].
- Zahedi, K., & Fakharian, F. (2010). Consonantal assimilation in modern Persian: A feature Geometry approach. *Journal of Researches in Linguistics*. 3 (5), 47-64 [In Persian].

## Providing a Suitable Method for Allophonic Labeling of Speech Corporuses According to the IPA System

Tahere Ahmadi<sup>1</sup>  
Batool Alinezhad<sup>2</sup>  
Hossein Karshenas<sup>3</sup>  
Bagher Babaali<sup>4</sup>

Received: 11/09/2019  
Accepted: 29/01/2020  
Article Type: Research

### Abstract

The corpus is a collection of spoken and / or written texts that can be used for linguistic analysis. More precisely, it can be said that these texts are purposefully labeled and categorized based on specific rules and allow the user to do various studies. Corpus linguistics is a branch of applied linguistics that examines and compares different aspects of linguistic data, and, of course, corpora are integral tools of this branch of linguistics. Due to the increasing role and importance of corpus linguistics in development of various sciences in recent decades, the produce and development of various linguistic corpora has been one of the priorities of scientists and researchers in different languages during these years.

After the creation of speech processing systems since about two decades ago, the use of context-dependent methods has become particularly prominent in an effort to increase the accuracy of these systems and some special studies conduct in linguistics,. One of the best ways to achieve this, is to use corpora that, have special labels in addition to segmentation at the phoneme level, to indicate the differentiation of various allophones. These allophnescan only be achieved by obtaining the necessary phonological rules. In linguistics, this process can be called allophonic labeling of corpus.

About 10 years after the introduction of allophonic corpora in the world, no allophonic labeling has been performed for any of Persian language corpora yet. The small Farsdat corpus is the main spoken corpus in Persian. Hence, the need to equip

---

<sup>1</sup> MA, Computational linguistics, Department of Linguistics, Faculty of Foreign Languages, University of Isfahan, Isfahan, Iran; pazhvak\_ta@fgn.ui.ac.ir

<sup>2</sup> PHD, Linguistics, Associate Professor and Faculty Member in Department of Linguistics, Faculty of Foreign Languages, University of Isfahan, Isfahan, Iran, (corresponding author); b.alinezhad@fgn.ui.ac.ir

<sup>3</sup> PHD, Artificial intelligence, Assistant Professor and Faculty Member in Department of Artificial intelligence, Faculty of Computer, University of Isfahan, Isfahan, Iran; h.karshenas@eng.ui.ac.ir

<sup>4</sup> PHD, Artificial intelligence, Assistant Professor and Faculty Member, Faculty of Mathematics, Statistics and Computer Science, University of Tehran, Tehran, Iran; babaali@ut.ac.ir

this corpus with allophonic labels to increase the accuracy, to improve the performance of speech processing systems, and to produce specific study, research programs, and tools in linguistic is obvious. In order to elucidate the method proposed in the present study for allophonic labeling of phonemic corpuses, and in parallel for equipping the Persian language with at least one allophonic corpus, the steps of the task are precisely performed on the small Farsdat phonemic corpus. The corpus is one of Persian-language corpora in the last two decades that consists of 6080 sentences spoken by 304 Persian speakers. The speakers of this corpus have indeed one of the most widely spoken dialects in Persian and all of sentences in this corpus, are segmented in to different levels. The segmentation of sentences in word and phoneme levels results in their efficiency in various speech processing systems, such as speech recognition systems, broad transcription systems, and text-to-speech systems. Moreover, the small Farsdat corpus has the potential to be used in the systems.

The suggested solution to prepare an allophonic corpus is to implement a program using the rule-based method and applying it on the phonemic corpus to add allophonic labels on it. The basis of the rule-based method in this research is access to rules for converting phonemes into allophones. After compiling these rules from the resources available in each language and preparing the appropriate settings (for implementation), the program is implemented. Finally by applying this program to the phonemic corpus, an allophonic corpus is prepared.

As noted, special phonological rules are required to convert phonemes into allophones in Persian and to add allophonic labels to the small Farsdat corpus. The purpose of this research is not to study phonemes based on acoustic and laboratory approaches in order to obtain Persian allophones; but rather to formulate and synchronize phonemes identified in various studies and then to adapt them to the International Phonetic Alphabet System. This ultimately leads to provide a standard set of allophones as far as possible and to achieve the phonological rules necessary for converting phonemes into allophones in Persian (based on existing studies).

Although one of the limitations of this study is its incompleteness regarding the extraction of different allophones in Persian, the implemented program has the capability to be updated. if any studies are carried out in the field of allophones to supplement the existing theoretical resources in the future, it has the possibility to be modified or to be enhanced regarding the performance. The present study may also highlight the need for more recent linguistic experiments and the use of more accurate tools and facilities to identify Persian phonemes. This can increase the motivation of phonetics and phonology researchers to take more practical steps in this field as well.

After providing the necessary preparations in the phonemic corpus (such as the syllable segmentation) and implementing the above rules, the allophonic labels can be added to the phonemic corpus by implementing this program on it.

**Keywords:** Phoneme, Allophone, Corpus, IPA system