فصلنامهٔ علمی - پژوهشی زبان‌پژوهی دانشگاه الزهرا(س)
سال دوازدهم، شمارهٔ ۳۴، بهار ۱۳۹۹

فضای واکه‌ای واکه‌های خیشومی‌شدهٔ زبان فارسی[۱]

زینب جعفری[۲]
بتول علی‌نژاد[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۹

چکیده

واکه‌ها، طبقه‌ای رسا از آواهای زبانی هستند. برای توصیفِ دقیقِ تولیدی واکه‌ها می‌توان از یک فضای دوبعدی به نام فضای واکه‌ای بهره برد. نمودارِ فضای واکه‌ای، روشی گرافیکی است که نشان می‌دهد یک واکه از جنبهٔ صوت‌شناختی و تولیدی در چه ناحیه‌ای قرار گرفته‌است. هدف اصلیِ این پژوهش، بررسیِ صوت‌شناختیِ واکه‌های خیشومی‌شدهٔ زبان فارسی، ترسیمِ نمودارِ فضایِ واکه‌ای آن‌ها و مقایسهٔ آن با فضایِ واکه‌ای واکه‌های دهانی این زبان بوده‌است. به این منظور، ۲۴۰۰ داده، استخراج شدند که به وسیلهٔ ۱۰ گویشور زن و مرد فارسی زبان تولید شدند. سپس داده‌ها، در چارچوب قواعد حاکم بر آواشناسی صوت‌شناختی بررسی شدند. در این پژوهش، تأثیر خیشومی‌شدگی بر میزان بسامد سازه‌های اول و دوم واکه‌های زبان فارسی بررسی شد. همچنین، تأثیر این عامل بر گسترهٔ بسامدی سازه‌های اول و دوم واکه‌های این زبان مورد مطالعه قرار گرفته است. این پژوهش، همچنین تأثیر

---

[۱] شناسه دیجیتال (DOI): 10.22051/jlr.2018.21102.1567

[۲] دانشجوی دکترای زبان‌شناسی، گروه زبان‌شناسی، دانشگاه اصفهان (نویسندهٔ مسئول)؛ jafari.z@fgn.ui.ac.ir
[۳] دانشیار گروه زبان‌شناسی، هیأت علمی دانشگاه اصفهان؛ b.alinezhad@fgn.ui.ac.ir

متغیر جنسیت را بر میزان بسامد سازه‌های اول و دوم واکه‌های زبان فارسی در دو بافت دهانی و خیشومی‌شده موردِ بررسی قرار داده‌است. یافته‌های به‌دست‌آمده از تحلیل‌های آماری نشان می‌دهد که خیشومی‌شدگی بر میزان بسامد سازهٔ اول و دوم تمامی واکه‌های زبان فارسی تأثیر معنادار دارد. همچنین، خیشومی‌شدگی بر گسترهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم واکه‌های زبان فارسی تأثیر معناداری ندارد. علاوه بر این، متغیر جنسیت در هر دو بافت دهانی و خیشومی‌شده بر میزان بسامد سازهٔ اول و دوم واکه‌ها به جز واکه /u/ تأثیر معنادار دارد.

واژه‌های کلیدی: فضای واکه‌ای، واکه‌های دهانی، واکه‌های خیشومی‌شده، فارسی

۱. مقدمه

واکه‌ها طبقه‌ای رسا از آواهای زبانی هستند که به طور معمول دهانی‌اند[1]. به این معنا که در تولید آن‌ها راه حفرهٔ بینی بسته است و هوا از دهان خارج می‌شود. هر چند می‌توان واکه‌ها را به صورت خیشومی‌شده[2] نیز تولید کرد. در این حالت، مجرای بینی و دهان به طور هم‌زمان باز بوده و هوا از هر دو مجرا خارج می‌شود. در برخی زبان‌ها همچون زبان فرانسوی، ویژگی خیشومی‌شدگی[3] از خاصیت تقابلی برخوردار است و تمایز معنایی ایجاد می‌کند. در برخی زبان‌ها همچون زبان فارسی این ویژگی واکه‌ها متأثر از بافت است و تمایز معنایی ایجاد نمی‌کند. در فارسی، هر واکه‌ای که در یک هجا در مجاورت یک همخوان خیشومی قرار گیرد خیشومی‌شده می‌گردد؛ به گونه‌ای‌که واکه [ã] در هجای اول واژهٔ «منصوب» [mãn.sub] به دلیل همجواری با همخوان‌های خیشومی [m] و [n]، خیشومی‌شده، گردیده‌است (Haghshenas, 1977, p. 115 & Modarresi Ghavami, 2011, p. 82).

برای توصیف دقیق تولیدی واکه‌ها می‌توان از یک فضای دو بعدی به نام فضای واکه‌ای[4] بهره برد. نمودار فضای واکه‌ای، روشی گرافیکی است که نشان می‌دهد یک واکه از جنبهٔ صوت‌شناختی و تولیدی در چه ناحیه‌ای قرار گرفته‌است. نمودار فضای واکه‌ای، بر مبنای دو سازهٔ[5] اول واکه‌ها ترسیم می‌شود. محور عمودی این نمودار، بسامد سازهٔ اول (F1) و محور افقی نمودار، تفاضل بسامد سازهٔ اول را از بسامد سازهٔ دوم (F2-F1) نشان می‌دهد. این نمودار دو بعدی، تا اندازهٔ معینی،

---

[1] oral
[2] nasalized
[3] nasalization
[4] vowel space
[5] formant

با جایگاه بدنه زبان، یعنی با افراشته یا افتاده بودن زبان و پیشین یا پسین بودن آن ارتباط دارد (Giacomino, 2012). نمودار فضای واکه‌ای را می‌توان ابزاری صوت‌شناختی در درک عینی‌تر کیفیت واکه‌ها در ارتباط با یک‌دیگر در نظر گرفت. رسم نمودار فضای واکه‌ای نخستین بار به وسیلهٔ اسنر (Essner, 1947) و جوس (Joos, 1948; quoted from Harrington, 2010) انجام شد. از آن زمان به بعد، طرح F1* F2 به عنوان یکی از شیوه‌های استاندارد در مقایسهٔ کیفیت واکه‌ای در همهٔ پژوهش‌های آواشناختی شناخته شد (Esfandiari & Alinezhad, 2015a, p. 16).

هدف اصلی این مقاله، بررسی صوت‌شناختی واکه‌های خیشومی‌شدهٔ زبان فارسی و ترسیم نمودار فضای واکه‌ای آن‌ها است. به منظور دست‌یابی به این هدف، پژوهش حاضر در پی پاسخگویی به پرسش‌هایی است. نخست اینکه، خیشومی‌شدگی بر میزان بسامد سازهٔ اول و سازهٔ دوم واکه‌های زبان فارسی چه تأثیری دارد؟ دوم آنکه، خیشومی‌شدگی بر گسترهٔ بسامدی سازهٔ اول و سازهٔ دوم واکه‌های زبان فارسی چه تأثیری دارد؟ در پایان، متغیر جنسیت بر میزان بسامد سازهٔ اول و سازهٔ دوم واکه‌های خیشومی‌شدهٔ زبان فارسی چه تأثیری دارد؟ در پی پاسخگویی به پرسش‌های مورد اشاره، واکه‌های خیشومی‌شده با واکه‌های دهانی مقایسه خواهند شد.

آن‌چه ضرورت انجام این پژوهش را مسلم می‌کند این است که یافته‌های مقالهٔ حاضر می‌تواند در مقایسه با نتایج پژوهش‌های قرار گیرد که در حوزهٔ زبان‌شناسی بالینی[1] در ارتباط با ریشه‌یابی و درمان اختلالات گفتار انجام می‌شوند (از جمله اختلالات گفتاری می‌توان به ناهنجاری‌های ناشی از شکاف کام و لب اشاره کرد. پژوهش‌هایی مانند اثر کرد زعفرانلو کامبوزیا و همکاران (Kord Zaferanloo Kamboozia et al., 2012) نشان می‌دهند که تمام آواهای زبان فارسی در افراد مبتلا به شکاف کام و لب بعد از عمل جراحی خیشومی‌شده هستند).

۲. پیشینهٔ پژوهش

پیترسون و بارنی (Peterson & Barney, 1952) فضای واکه‌ای ۱۰ واکهٔ ساده انگلیسیِ آمریکایی را به دست آوردند. این واکه‌ها توسط ۷۶ گویشور، ۳۳ مرد، ۲۸ زن و ۱۵ کودک، در بافت /hVd/ تولید شده بودند. هیلن‌برند و همکاران (Hillenbrand et al., 1995) به دنبال تکرار و گسترش مطالعهٔ صوت‌شناختی پیترسون و بارنی (Peterson & Barney, 1952) بر واکه‌های ساده زبان انگلیسی ۱۲ واکهٔ ساده انگلیسیِ آمریکایی را مورد بررسی قرار دادند. این واکه‌ها، توسط ۴۵ گویشور مرد، ۴۸ گویشور زن و ۴۶ گویشور کودک در بافت /hVd/ تولید شده بودند. آن‌ها

[1] clinical linguistics

دریافتند که با افزودن دیرش و تغییرات طیفی به الگوی سازه‌ای می‌توان با دقت بالایی، واکه‌ها را در فضای واکه‌ای از یک‌دیگر جدا کرد. جاکامینو (Giacomino, 2012) فضای واکه‌ای ۱۱ واکهٔ ساده انگلیسیِ آمریکایی را به دست آوردند که توسط ۸ گویشور (۴ زن و ۴ مرد) با زبان مادری اسپانیایی در بافت /hVd/ تلفظ شده بودند. آن‌ها به مقایسهٔ یافته‌های خود با بررسی پیترسون و بارنی پرداختند. پاکر و لورینز (Packer & Lorincz, 2013) به بررسی فضای واکه‌ای ۱۱ واکهٔ ساده انگلیسیِ آمریکایی پرداختند که توسط یک گویشور با زبان مادری عربی تولید شده بود. سپس، به مقایسهٔ این یافته‌ها با پژوهش پیترسون و بارنی پرداختند.

کلاین و همکاران (Klein et al., 1970) طیف واکه‌ای، فضای واکه‌ای و درک واکه‌ای ۱۲ واکه زبان هلندی را مورد بررسی قرار دادند که توسط ۵۰ گویشور مرد این زبان تلفظ شده بودند. جانگمن و همکاران (Jongman et al., 1989) فضای واکه‌ای ۵ واکه زبان یونانی نو را ارائه کردند که به وسیلهٔ ۴ گویشور مرد یونانی زبان تلفظ شده بود. همچنین فضای واکه‌ای و ۱۴ واکه زبان آلمانی نو، را به دست آورند که توسط ۳ گویشور زن آلمانی زبان تلفظ شده بود. موست و همکاران (Most et al., 2000) به بررسی ویژگی‌های صوت‌شناختی و ترسیم فضای واکه‌ای ۵ واکه زبان عبری بر مبنای دو مقیاس هرتز و بارک پرداختند. این واکه‌ها توسط ۹۰ گویشور زن، مرد، دختر و پسر، تولید شده بود.

قرائتی (Gharaati, 2010) فضای واکه‌ای زبان فارسی در هجاهای تکیه‌دار و بی‌تکیه را مورد بررسی قرار داد. یافته‌های پژوهش وی نشان داد، در زبان فارسی فضای واکه‌ای واکه‌های تکیه‌دار گسترده‌تر از واکه‌های بی‌تکیه است. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2011) در پی تعیین ساختار سازه‌ای و فضای واکه‌ای واکه‌های زبان فارسی بودند. آن‌ها به بررسی شش واکهٔ این زبان پرداختندک ه توسط ۳۰ گویشور زن و ۳۰ گویشور مرد فارسی زبان تولید شده بود. محمدی و همکاران (همان) میزان بسامد پایه، سازهٔ اول، سازهٔ دوم و سازهٔ سوم واکه‌های زبان فارسی را در دو گروه زنان و مردان مورد بررسی قرار دادند. همچنین در پژوهش آن‌ها به ترسیم نمودار فضای واکه‌ای به تفکیک جنسیت پرداخته شد. بی‌جن‌خان (Bijankhan, 2013) به بررسی فضای واکه‌ای زبان فارسی به تفکیک دو گروه زنان و مردان بر اساس مقیاس‌های مختلف هرتز، بارک، مِل و اِرب پرداخت. بیشتر بودن سطح سازه‌های زنان نسبت به مردان یکی از یافته‌های این پژوهش بود. مدرسی قوامی (Modarresi Ghavami, 2013) تأثیر تکیه بر دیرش و ویژگی‌های کیفی واکه‌های سادهٔ زبان فارسی در هجای باز تکیه‌بر و بی‌تکیهٔ واژه‌های دو هجایی را در گفتار ۱۴ زن و مرد فارسی زبان، از جنبهٔ صوت‌شناختی مورد بررسی قرار دادند. بر پایهٔ یکی از یافته‌های این مطالعه، نمودار فضای واکه‌ای در حالت بی‌تکیه بزرگ‌تر از حالت تکیه‌بر است.

اسفندیاری و علی‌نژاد (Esfandiari & Alinezhad, 2015a) با هدف تعیین مطلوب‌ترین تکنیک بهنجارسازی واکه‌ای در زبان فارسی در جهت حذف تأثیر جنسیت بر مقادیر سازه‌ای به بررسی فضای واکه‌ای واکه‌های زبان فارسی پرداختند. در این بررسی تحلیل‌های صوت‌شناختی فضاهای واکه‌ای با تفکیک دو متغیر جنسیت (مرد و زن) و بافت آوایی هجا (تکیه‌بر و بی‌تکیه) انجام شد. در این پژوهش، برای بهنجار کردن داده‌های زبان فارسی به ارزیابی شیوه‌های مختلف بهنجارسازی در زبان فارسی بر اساس دو معیار الف) تکنیک محاسبه میزان همپوشانی و ب) تکنیک تحلیل تشخیصی پرداختند. این پژوهش، تکنیک نری[1] را به عنوان مطلوب‌ترین شیوه بهنجارسازی برای حذف و یا کمینه کردن تأثیرات فیزیولوژیکی با حفظ تمایزات واجی در زبان فارسی معرفی نمود. همچنین در این بررسی با ترسیم فضای واکه‌ای واکه‌ها مشخص شد که فضای واکه‌ای در گروه زنان چه در حالت تکیه‌دار و چه بی‌تکیه بزرگ‌تر از فضای واکه‌ای در گروه مردان است.

اسفندیاری و همکاران (Esfandiari et al., 2015b) با هدف ترسیم نمودار فضای واکه‌ای واکه‌های زبان فارسی در پی تعیین مطلوب‌ترین شیوه (F1*F2 یا F1*F2-F1) برای رسم فضای واکه‌ای بودند. در این مطالعه به ارزیابی شیوه‌های مذکور بر مبنای دو معیار الف) تحلیل تشخیصی خطی و ب) کاهش پراکندگی پرداخته شد. بر پایهٔ یافته‌های پژوهش، معیار تحلیل تشخیصی خطی، تفاوتی بین این دو شیوه برای رسم فضای واکه‌ای در نظر گرفته نمی‌شود. هر چند تحلیل‌های آماری در این تحقیق تفاوت بین این دو شیوه را بر مبنای معیار کاهش پراکندگی معنادار نشان دادند. در این بررسی، مطلوب‌ترین شیوه برای ترسیم فضای واکه‌ای واکه‌های زبان فارسی F1*F2-F1 در نظر گرفته شد. به سبب آنکه، این شیوه علاوه بر نمایش دقیق‌تر جایگاه زبان از میزان پراکندگی واکه‌ها کاسته‌است.

علی‌نژاد (Alinezhad, 2016) به دنبال بررسی پیش‌بینی کلیدی نظریه پراکندگی سازگاریافته[2] بود. وی به مقایسهٔ مساحت فضای واکه‌ای زبان فارسی با ۶ واکه پیرامونی با مساحت فضای واکه‌ای گونهٔ فریدونکناری گویش مازندرانی با ۵ واکه بر اساس شاخصه‌های مساحتی بکر-کریستال (Becker-Kristal, 2010) پرداخت. یافته‌های پژوهش وی نشان داد که مساحت فضای واکه‌ای زبان فارسی بزرگ‌تر از گویش مازندرانی است. در این اثر، محاسبهٔ شاخصه‌های مساحتی در دو زیر فضای پیشین و پسین معلوم کرد که گسترهٔ سازهٔ اول در زیر فضای پسین زبان فارسی نسبت به گویش مازندرانی بزرگ‌تر است. به بیان دیگر، بعد پسین فضای واکه‌ای زبان فارسی به

[1] neary
[2] adaptive dispersion theory

سبب حضور سه واکه از بعد پسین فضای واکه‌ای گویش مازندرانی که دو واکه پسین دارد، بزرگ‌تر است. در صورتی‌که گسترهٔ سازهٔ اول در زیر فضای پیشین در گویش مازندرانی بزرگ‌تر از زبان فارسی است.

جعفری و علی‌نژاد (Jafari & Alinezhad, 2017) با هدف تعیین میانگین بسامد پادسازهٔ اول خیشومی‌های زبان فارسی و شناسایی ناحیه بسامدی شکل‌گیری پادسازهٔ اول، به بررسی طیف‌های دو خیشومی [m] و [n] پرداختند. آن‌ها تأثیر واکه‌های پیشین و پسین بر میانگین بسامد پادسازهٔ خیشومی‌های زبان فارسی را مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های پژوهش آن‌ها نشان داد که میانگین بسامد پادسازهٔ خیشومی‌ها در مجاورت با واکه‌های پیشین بیش‌تر از میانگین بسامد پادسازهٔ این دو خیشومی در مجاورت با واکه‌های پسین است.

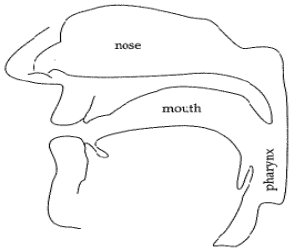
۳. ویژگی‌های صوت‌شناختی واکه‌ها

بر پایهٔ آواشناسی صوت‌شناختی و در چارچوب نظریهٔ منبع- صافی[1]، منبع تولید واکه‌ها ارتعاش تارآواها و به بیانی تولید واک[2] در چاکنای (یا حنجره) است. واک در گذر از مجرای صوتی فوقِ حنجره‌ای و در واقع در گذر از حفره‌های حلق و دهان که به عنوان صافی عمل می‌کنند، در بسامدهای مشخصی تشدید و تقویت می‌شود و سازه‌ها را تشکیل می‌دهد. بسامدهای بازخوانی شده در مجرای گفتار را سازه گویند که ممیز واکه‌ها از هم‌دیگر هستند. سازه‌ها در طیف‌نگاشت به صورت قله‌هایی از انرژی صوتی مشاهده می‌شوند (Johnson, 2012, pp. 44-45; Alinezhad & Hosseini Balam, 2012, p. 112 & Bijankhan, 2013, pp. 94-95). بر پایهٔ دیدگاه جانسون (Johnson, 2012, p.142) بسامد سازه‌های اول و دوم واکه‌ها در تمایز بین آن‌ها نقش با اهمیتی دارند. از جنبهٔ صوت‌شناختی ارتفاع واکه‌ها با میزان بسامد سازهٔ اول آن‌ها پیوندی معکوس دارد. در واقع، میزان بسامد سازهٔ اول واکه‌های افراشته کم و بسامد سازهٔ اول واکه‌های افتاده بسیار است. از سوی دیگر، مابین میزان بسامد سازهٔ دوم واکه‌ها و واجگاه آن‌ها نیز ارتباط وجود دارد. سازهٔ دوم، واکه‌های پیشین از بسامد بالا و سازهٔ دوم واکه‌های پسین از بسامد پائینی برخوردارند (Johnson, 2012, p. 144 & Alinezhad & Hosseini Balam, 2012, p. 135).

بر خلاف واکه‌های دهانی، در تولید واکه‌های خیشومی‌شده، دو مجرای بازخوانی دهانی و خیشومی به طور هم‌زمان عمل می‌کنند. مجرای دهانی، ترکیبی از حفره‌های حلق و دهان و مجرای خیشومی، ترکیبی از حفره‌های حلق و خیشوم هستند. شکل (۱) نمایی از مجراهای بازخوانی را در تولید واکه‌های خیشومی‌شده نشان می‌دهد.

---

[1] source- filter theory
[2] voice



شکل ۱: نمایی از مجراهای بازخوانی در تولید واکه‌های خیشومی‌شده (Johnson, 2012, p. 200)

با پائین آمدن نرم‌کام و باز شدن راه حفرهٔ بینی، بسامد بازخوانی حفرهٔ بینی که سازهٔ خیشومی[1] (FN) نام دارد به طیف بسامدی واکه‌های دهانی افزوده می‌شود. سازهٔ خیشومی در نزدیکی سازهٔ اول واکه خیشومی‌شده و با انرژی کم‌تر از آن ظاهر می‌شود (Bijankhan, 2013, p. 177). یکی از ویژگی‌های صوت‌شناختی واکه‌های خیشومی‌شده کاهش میزان شدت سازهٔ اول آن‌هاست. پائین بودن دامنهٔ این سازه را اغلب نتیجهٔ حضور حفرهٔ بینی و ویژگی‌های میرایی دیواره‌های آن می‌دانند. این کاهش شدت از ۷ دسی‌بل برای واکهٔ /i/ تا ۱۳ دسی‌بل برای واکهٔ /u/ ثبت شده‌است. از سوی دیگر، سازهٔ اول واکه‌های خیشومی‌شده از پهنای باند گسترده‌تری برخوردار است که دلیل آن را نزدیکی سازهٔ خیشومی به آن می‌دانند (Schwartz, 1968, pp. 135-136; Ladefoged, 2001, p. 165; Johnson, 2012, p. 201 & Bijankhan, 2013, p. 177).

یکی دیگر از ویژگی‌های واکه‌های خیشومی‌شده، حضور پادسازه[2] در طیف بسامدی آن‌ها است. پیدایش پادسازه، نتیجهٔ جفت‌شدگی حفرهٔ حلق- دهانی با حفرهٔ جانبی خیشوم است. در واقع، بسامدهای بازخوانی شده در حفرهٔ بینی پادسازه‌های واکه‌های خیشومی‌شده به شمار می‌آیند. پادسازه‌ها، میزان شدت سازه‌های پیرامون خود را کاهش می‌دهند. بسامد پادسازه‌ها و میزان تأثیر آن‌ها بر شدت سازه‌ها به نوع واکه، گویشور و میزان بازی دریچهٔ نرم‌کام بستگی دارد. در پیوند با عامل سوم می‌توان گفت، بسامد پادسازه‌ها در واکه‌های خیشومی‌شده تابع درجه جفت‌شدگی حفره خیشوم با حلق است. هر چه جفت‌شدگی این دو مجرا قوی‌تر باشد، در واقع هر چه دریچهٔ نرمکام بازتر باشد، میزان بسامد پادسازه‌ها بیش‌تر است (Schwartz, 1968, p. 136; Johnson, 2012, pp. 200-201 & Alinezhad & Hosseini Balam, 2012, p. 187). به باور هیوارد (Hayward, 2000, p. 101 quoted from Bijankhan, 2013, p. 178) هر چه دریچهٔ نرمکام بیش‌تر باز شود، فاصلهٔ بین سازهٔ خیشومی و پادسازه نیز بیش‌تر می‌شود. این در حالی است که هر

[1] nasal formant
[2] anti formant

چه دریچهٔ نرمکام کم‌تر باز شود، فاصلهٔ بین سازهٔ خیشومی و پادسازه کم‌تر می‌شود. بنابراین فاصلهٔ بین سازهٔ خیشومی و پادسازه نشان‌گر میزان خیشومی بودن یا خیشومی‌شدگی است. اگر این فاصله صفر شود تأثیر این دو بر یک‌دیگر خنثی می‌شود و این به معنای حذف خیشومی بودن یا خیشومی‌شدگی است.

یکی دیگر از ویژگی‌های واکه‌های خیشومی‌شده جابه‌جایی سازه‌ها، به ویژه سازهٔ اول، در طیف آن‌هاست. این ویژگی دوباره به علت جفت‌شدگی حفرهٔ خیشوم است که سبب تغییر در ابعاد حفرهٔ حلق- دهانی می‌شود (Schwartz, 1968, p. 136 & Stevens, 1999, p. 312). به باور رایت (Wright, 1986) در نمودار فضای واکه‌ای واکه‌های افراشتهٔ خیشومی‌شده نسبت به واکه‌های افراشتهٔ دهانی در فضای بسامدی پائین‌تری قرار دارند. همچنین، واکه‌های افتادهٔ خیشومی‌شده نسبت به واکه‌های افتادهٔ دهانی در فضای بسامدی بالاتری قرار می‌گیرند (Johnson, 2012, p. 201).

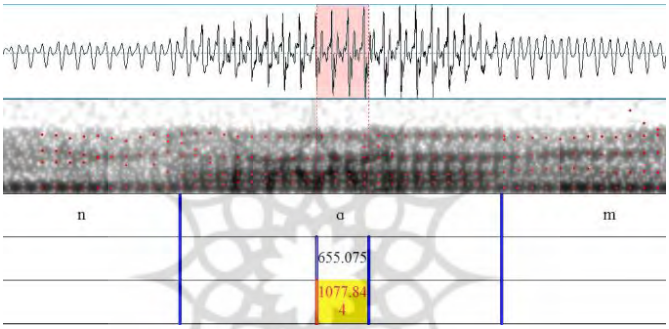
۴. روش پژوهش

۴. ۱. روش گردآوری و تعداد داده‌ها

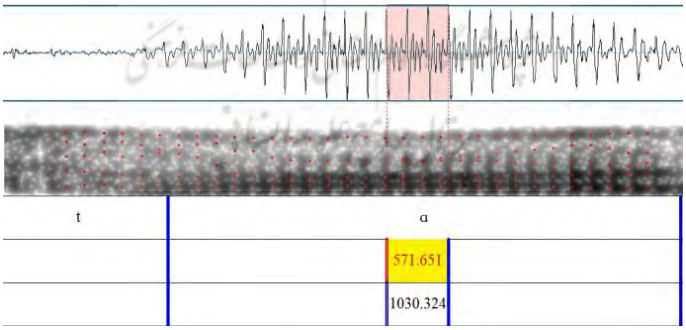
هدف اصلی پژوهش، مطالعهٔ صوت‌شناختی واکه‌های خیشومی‌شدهٔ زبان فارسی است تا به ترسیم نمودار فضای واکه‌ای آن‌ها منجر شود. سپس این نمودار، با فضای واکه‌ای واکه‌های دهانیِ این زبان، مقایسهٔ شود. به این منظور، ۲۴۰۰ داده استخراج شده و داده‌ها در چارچوب قواعد حاکم بر آواشناسی صوت‌شناختی بررسی شده‌اند. داده‌های پژوهش با ضبط صدای ۱۰ گویشور بزرگسال فارسی زبان (پنج زن و پنج مرد) به دست آمدند. قالب جملهٔ حامل **او گفت W واژه است.** به ازای W به عنوان واژه هدف، ۴۸ واژه شامل واکه‌های دهانی یا خیشومی‌شده قرار داده شدند و هر جمله توسط هر گویشور پنج بار تکرار شد. واژه‌هایی همانند /**nim**paz/، /**men**Gar/، /**man**zur/، /**mɑn**degar/، /**mon**tazer/ و /**mun**degar/ دارای واکه‌های خیشومی‌شده و واژه‌هایی چون /**zi**bɑ/، /**ke**tab/، /**far**dɑ/، /**sɑ**lar/، /**for**sat/ و /**bu**ran/ مشتمل بر واکه‌های دهانی، نمونه‌هایی از ۴۸ واژهٔ مورد استفاده در این پژوهش هستند (در این واژه‌ها، هجاهای در بردارندهٔ واکه‌های خیشومی‌شده و دهانی به صورت تیره مشخص شده‌اند). ضبط صدا با استفاده از دستگاه ضبط هوآوی جی ۷۵۰ یو ۱۰ [1]، در محیطی کاملاً آرام انجام شد. به منظور استخراج بسامد سازه‌ها، بخش میانی واکه که دارای ثبات صوت‌شناختی است، در نرم‌افزار پرات مدل ۶,۰,۲۸ به صورت دستی اندازه‌گیری شد. میانگین بسامد سازه‌های اول و دوم واکه‌های دهانی و خیشومی‌شده در

[1] Huawei G750-U10

موضع بی‌تکیهٔ اسم‌ها و صفات دو تا سه هجایی اندازه‌گیری شدند. واکه‌های دهانی در بافت‌های [CV.C] و [CVC] (V نشانگر واکه، C نشانگر همخوان دهانی و نقطه نشانگر مرز بین دو هجا است) و واکه‌های خیشومی‌شده در بافت [NVN] (N نشانگر همخوان خیشومی است) مورد بررسی قرار گرفتند. بافت خیشومی‌شده به گونه‌ای انتخاب شد که پیش و پس واکه‌ها یک همخوان خیشومی قرارگیرد تا تأثیر معنادار خیشومی‌شدگی بر واکه‌ها، در صورت وجود، خود را به خوبی نشان دهد. شکل‌های (۲) و (۳) به ترتیب سیگنال و طیف‌نگاشت هجای [nãm] در بردارندهٔ واکه خیشومی‌شدهٔ [ã] در واژهٔ [nãmzad] و هجای [tɑ] در بردارندهٔ واکه دهانی [ɑ] در واژهٔ [tɑze] تولید شده توسط یکی از گویشوران مرد را نشان می‌دهند.



شکل ۲: سیگنال و طیف‌نگاشت هجای [nãm] در بردارندهٔ واکه خیشومی‌شدهٔ [ã] تولیدشده توسط یک گویشور مرد



شکل ۳: سیگنال و طیف‌نگاشت هجای [tɑ] در بردارندهٔ واکه دهانی [ɑ] تولیدشده توسط یک گویشور مرد

همان‌گونه که در شکل‌های (۲) و (۳) نشان داده شده‌است، به منظور استخراج داده‌ها در محیط نرم افزار پرات، هجای مورد نظر انتخاب شد. سپس، مرز بین آواها مشخص گردید. در پایان، بخش میانی واکه به منظور اندازه‌گیری میانگین بسامد سازه‌ها انتخاب شد.

در این مقاله، برای حذف داده‌های پرت، از معیار فاصله ماهالانوبیس[1] استفاده شد. در واقع، هنگامی‌که داده‌ها دوبعدی باشند، این معیار به‌کار می‌رود. منظور از دادهٔ پرت از جنبهٔ آماری، تعداد محدودی از داده‌هاست که نسبت به توزیع عادی واکه‌ها ناهماهنگ بوده و از بقیهٔ مشاهدات دور و غیرطبیعی باشند (Alinezhad, 2016, p. 103). همچنین، به سبب آنکه واکه‌ها دارای دو بعد سازهٔ اول و سازهٔ دوم هستند، بر اساس این معیار اگر هر دو بعد یک واکه پرت باشد آن را مشخص می‌کند. از این رو، همان‌گونه که جدول‌های بخش‌های پیش رو نشان خواهند داد به دلیل حذف داده‌های پرت، تعداد مشاهدات از یک گروه به گروه دیگر و یا از یک جنس به جنس دیگر تفاوت دارند.

همچنین در بخش بررسی گسترهٔ بسامدی سازه‌های اول و دوم واکه‌ها در گروه گویشوران مرد مورد بررسی قرار گرفت. در این بخش، در هر یک از زیر گروه‌های واکه‌های دهانی و واکه‌های خیشومی‌شده، فضای واکه‌ای مربوط به یکی از گویشوران با توجه به گسترهٔ هر یک از بسامدهای F1 و F2 نسبت به فضای واکه‌ای بقیهٔ گویشوران متفاوت بوده‌است. بر این مبنا، این موارد بر اساس فاصله ماهالانوبیس به دلیل پرت بودن بسامد دو بعدی سازه‌ها، حذف شده‌اند. از این رو، تعداد گویشوران مرد، در این بخش از ۵ نفر به ۴ نفر کاهش یافته‌اند.

۴. ۲. تحلیل آماری

تحلیل آماری داده‌های پژوهش حاضر، مشتمل بر دو بخش توصیفی و استنباطی است. در تحلیل توصیفی، پارامترهایی همانند میانگین و انحراف معیار متغیرهای مورد بررسی محاسبه شدند. سپس به کمک مقادیر به دست آمده تا حدودی تفاوت واکه‌های دهانی و خیشومی‌شده قابل مشاهده گردیده است. نمودار فضای واکه‌ای نیز در این راستا کمک کرده و دید شهودی برای مقایسه را ارائه داده‌است. همچنین برای بررسی تأثیر عامل خیشومی‌شدگی و متغیر جنسیت بر بسامد سازهٔ اول و دوم شش واکهٔ زبان فارسی از روش تحلیل آماری مدل آمیخته[2] استفاده شد. در مدل آمیخته گویشوران مختلف به عنوان اثری تصادفی تعیین می‌شوند. از این رو، در روش تحلیل مورد استفاده نیازی به نرمال‌سازی متغیر جنسیت نیست. چرا که عامل گویشور به عنوان اثری تصادفی تعیین می‌شود. با چنین انتخابی تفاوت‌های میان افراد مختلف در نظر گرفته می‌شود و در نتیجه تفاوت میان جنسیت هم مورد توجه قرار خواهد گرفت. در آزمون‌های آماری پژوهش حاضر، فرض صفر معادل نبود اختلاف در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که مقدار سطح معناداری از ۰/۰۵ بیش‌تر شود، فرض صفر تأیید می‌شود.

---

[1] mahalanobis distance
[2] mixed model

۵. تحلیل داده‌ها

در این بخش بر پایهٔ تحلیل‌های آماری پژوهش، تأثیر عامل خیشومی‌شدگی بر بسامد سازهٔ اول و دوم واکه‌های زبان فارسی بررسی خواهند شد. همچنین تأثیر این عامل بر گسترهٔ بسامدی سازه‌های اول و دوم واکه‌ها و همچنین تأثیر متغیر جنسیت بر بسامد سازهٔ اول و دوم واکه‌ها در دو بافت خیشومی‌شده و دهانی مورد پژوهش قرار خواهند گرفت. در نهایت، نمودار فضای واکه‌ای واکه‌های خیشومی‌شده و دهانی ترسیم و با یکدیگر مقایسه خواهند شد.

۵. ۱. تأثیر عامل خیشومی‌شدگی بر بسامد سازهٔ اول و دوم واکه‌های زبان فارسی

جدول (۱)، تأثیر عامل خیشومی‌شدگی را بر F1 و F2 واکه‌های زبان فارسی بر مبنای روش تحلیل آماری مدل آمیخته نشان می‌دهد. شمار مشاهده‌ها در هر گروه، همراه با میانگین و انحراف معیار مربوط به آن‌ها نیز در جدول (۲) نشان داده شده‌اند.

جدول ۱: تأثیر عامل خیشومی‌شدگی بر F1 و F2 واکه‌های زبان فارسی

واکه		آماره آزمون	درجه آزادی	سطح معناداری
u	F1	۶۶/۷۰۵	(۷/۳۱۴)	۰/۰۰۰
	F2	۱۱/۷۱۹	(۷/۳۱۴)	۰/۰۰۰
i	F1	۷۳/۳۱۲	(۷/۳۰۹)	۰/۰۰۰
	F2	۵۷/۵۷	(۷/۳۰۹)	۰/۰۰۰
o	F1	۵۰/۹۱۱	(۷/۳۲۲)	۰/۰۰۰
	F2	۱۴/۶۵۶	(۷/۳۲۲)	۰/۰۰۰
e	F1	۷۳/۴۰۶	(۷/۳۱۱)	۰/۰۰۰
	F2	۱۵/۸۹۷	(۷/۳۱۱)	۰/۰۰۰
ɑ	F1	۸۳/۲۳۵	(۷/۳۱۸)	۰/۰۰۰
	F2	۱۵/۰۱۵	(۷/۳۱۸)	۰/۰۰۰
a	F1	۵۴/۴۰۳	(۷/۳۱۰)	۰/۰۰۰
	F2	۱۹/۵۱۹	(۷/۳۱۰)	۰/۰۰۰

یافته‌های جدول (۱) نشان می‌دهد و با توجه به سطح معناداری که از ۰/۰۵ کوچک‌تر است. بر این مبنا، خیشومی‌شدگی بر میانگین بسامد سازهٔ اول و دوم تمامی واکه‌های زبان فارسی در دو گروه واکه‌های پیشین و پسین و در سه سطح افراشته، میانی و افتاده تأثیر معناداری دارند.

بر اساس نتایج جدول (۲)، در گروه واکه‌های پیشین در دو سطح افراشته و میانی، میانگین بسامد سازهٔ اول و دوم واکه‌های خیشومی‌شده بیش‌تر از واکه‌های دهانی است. برای نمونه،

میانگین بسامد سازهٔ اول واکهٔ /i/ دهانی ۳۴۵/۴۷ هرتز و گونهٔ خیشومی‌شدهٔ آن ۳۷۲/۲۱ هرتز است. میانگین بسامد سازهٔ دوم همین واکه در حالت دهانی ۲۲۷۴/۳۵ هرتز و در حالت خیشومی‌شده ۲۵۳۵/۲۰ هرتز است.

بر پایهٔ یافته‌های جدول (۲)، میانگین بسامد سازهٔ دوم واکه /a/ خیشومی‌شده بیش‌تر از حالت دهانی آن است. این در حالی است که میانگین بسامد سازهٔ اول این واکه در حالت خیشومی‌شده کم‌تر از حالت دهانی آن است. میانگین بسامد سازهٔ اول این واکه در حالت دهانی ۷۱۰/۱۱ هرتز و در حالت خیشومی‌شده ۶۷۳/۹۳ هرتز است. میانگین بسامد سازهٔ دوم این واکه در حالت دهانی ۱۵۸۵/۲۴ هرتز و در حالت خیشومی‌شده ۱۶۴۷/۲۰ هرتز است.

جدول ۲: شاخص‌های آماری F1 و F2 واکه‌های زبان فارسی به تفکیک دو عامل دهانی و خیشومی‌شده

واکه		نوع واکه	تعداد	میانگین	انحراف معیار
u	F1	خیشومی‌شده	۱۶۱	۴۶۲/۷۶	۱۰۶/۳۶
		دهانی	۱۷۱	۳۸۴/۱۲	۳۹/۲۴
	F2	خیشومی‌شده	۱۶۱	۹۹۸/۰۹	۲۴۳/۷۴
		دهانی	۱۷۱	۹۱۰/۵۲	۱۵۸/۰۲
i	F1	خیشومی‌شده	۱۶۳	۳۷۲/۲۱	۵۶/۱۶
		دهانی	۱۶۴	۳۴۵/۴۷	۵۸/۳۶
	F2	خیشومی‌شده	۱۶۳	۲۵۳۵/۲۰	۱۸۹/۵۵
		دهانی	۱۶۴	۲۲۷۴/۳۵	۳۰۷/۲۲
o	F1	خیشومی‌شده	۱۷۳	۵۳۷/۹۳	۹۶/۴۴
		دهانی	۱۶۷	۴۷۵/۹۱	۴۶/۸۹
	F2	خیشومی‌شده	۱۷۳	۹۹۲/۶۵	۱۵۵/۸۷
		دهانی	۱۶۷	۹۵۹/۳۵	۱۰۱/۱۹
e	F1	خیشومی‌شده	۱۶۳	۵۲۴/۶۴	۸۶/۱۹
		دهانی	۱۶۶	۴۷۴/۲۴	۵۵/۳۱
	F2	خیشومی‌شده	۱۶۳	۱۹۹۰/۶۲	۲۴۱/۵۷
		دهانی	۱۶۶	۱۸۳۲/۶۳	۲۴۷/۶۸
ɑ	F1	خیشومی‌شده	۱۶۸	۶۴۶/۰۹	۹۵/۲۰
		دهانی	۱۶۸	۵۹۹/۴۴	۶۳/۴۸
	F2	خیشومی‌شده	۱۶۸	۱۰۸۷/۱۷	۸۷/۸۸
		دهانی	۱۶۸	۱۰۴۲/۱۵	۱۰۹/۰۴
a	F1	خیشومی‌شده	۱۶۵	۶۷۳/۹۳	۹۲/۹۴
		دهانی	۱۶۳	۷۱۰/۱۱	۱۰۰/۴۰
	F2	خیشومی‌شده	۱۶۵	۱۶۴۷/۲۰	۱۷۰/۱۷
		دهانی	۱۶۳	۱۵۸۵/۲۴	۲۴۷/۶۱

بر مبنای یافته‌های جدول (۲)، در گروه واکه‌های پسین در هر سه سطح افراشته، میانی و افتاده میانگین بسامد سازهٔ اول و دوم واکه‌های خیشومی‌شده بیش‌تر از واکه‌های دهانی است. برای نمونه، بسامد سازهٔ اول واکهٔ /u/ دهانی ۳۸۴/۱۲ هرتز و گونهٔ خیشومی‌شدهٔ آن ۴۶۲/۷۶ هرتز است. میانگین بسامد سازهٔ دوم همین واکه در حالت دهانی ۹۱۰/۵۲ هرتز و در حالت خیشومی‌شده ۹۹۸/۰۹ هرتز است.

۵. ۲. تأثیر متغیر جنسیت بر بسامد سازهٔ اول و دوم واکه‌های زبان فارسی در دو بافت دهانی و خیشومی‌شده

جدول (۳)، تأثیر عوامل جنسیت، نوع (دهانی یا خیشومی‌شدگی) و اثر متقابل جنسیت و نوع را بر بسامد سازهٔ اول را نشان می‌دهد. جدول (۴)، تأثیر این عوامل را بر بسامد سازهٔ دوم واکه‌ها بر مبنای روش تحلیل آماری مدل آمیخته به نمایش گذاشته‌است. جدول (۵)، شاخص‌های آماری F1 و F2 واکه‌های زبان فارسی را به تفکیک جنسیت در دو گروه واکه‌های دهانی و خیشومی‌شده نشان می‌دهد.

جدول ۳: تأثیر عوامل جنسیت، نوع و اثر متقابل جنسیت و نوع بر F1 واکه‌های زبان فارسی

واکه	منبع تغییرات	آزمونF	سطح معناداری
u	عرض از مبدا	۱۸۶۶/۲۸۹	۰/۰۰۰
	جنسیت	۲/۲۹۳	۰/۱۶۲
	نوع	۷۸/۲۰۱	۰/۰۰۰
	نوع * جنسیت	۰/۹۰۱	۰/۳۴۵
i	عرض از مبدا	۴۳۸/۳۰۰	۰/۰۰۰
	جنسیت	۰/۸۶۶	۰/۳۷۹
	نوع	۵۱/۴۹۰	۰/۰۰۰
	نوع * جنسیت	۱۶۳/۰۰۹	۰/۰۰۰
o	عرض از مبدا	۷۰۲۳/۴۰۷	۰/۰۰۰
	جنسیت	۲۳/۳۵۸	۰/۰۰۱
	نوع	۹۲/۰۶۲	۰/۰۰۰
	نوع * جنسیت	۰/۴۳۹	۰/۵۰۸
e	عرض از مبدا	۳۶۹۶/۴۹۸	۰/۰۰۰
	جنسیت	۳۳/۶۴۸	۰/۰۰۱
	نوع	۵۱/۷۳۳	۰/۰۰۰
	نوع * جنسیت	۲/۶۸۹	۰/۱۰۳
ɑ	عرض از مبدا	۳۹۵۷/۲۶۷	۰/۰۰۰
	جنسیت	۲۱/۷۸۴	۰/۰۰۱
	نوع	۵۷/۰۶۳	۰/۰۰۰
	نوع * جنسیت	۵/۰۳۶	۰/۰۲۶

واکه	منبع تغییرات	آزمونF	سطح معناداری
a	عرض از مبدا	۱۱۹۴/۸۴۹	۰/۰۰۰
	جنسیت	۷/۸۰۶	۰/۰۲۴
	نوع	۵۹/۰۷۵	۰/۰۰۰
	نوع * جنسیت	۱۲۳/۷۳۳	۰/۰۰۰

جدول ۴: تأثیر عوامل جنسیت، نوع و اثر متقابل جنسیت و نوع بر F2 واکه‌های زبان فارسی

واکه	منبع تغییرات	آزمونF	سطح معناداری
u	عرض از مبدا	۵۱۵/۷۰۴	۰/۰۰۰
	جنسیت	۱/۱۶۸	۰/۳۱۳
	نوع	۰/۰۸۲	۰/۷۷۵
	نوع * جنسیت	۰/۶۲۷	۰/۴۳۰
i	عرض از مبدا	۲۴۹۳/۹۴۰	۰/۰۰۰
	جنسیت	۱۳/۵۰۴	۰/۰۰۶
	نوع	۷۰۹/۷۷۵	۰/۰۰۰
	نوع * جنسیت	۱۶۹/۷۳۶	۰/۰۰۰
o	عرض از مبدا	۴۲۰/۸۰۵	۰/۰۰۰
	جنسیت	۰/۰۳۷	۰/۸۵۱
	نوع	۱۲/۷۲۳	۰/۰۰۰
	نوع * جنسیت	۱۳/۴۴۰	۰/۰۰۰
e	عرض از مبدا	۱۹۵۱/۹۱۴	۰/۰۰۰
	جنسیت	۱۹/۸۷۷	۰/۰۰۲
	نوع	۲۹۰/۷۲۲	۰/۰۰۰
	نوع * جنسیت	۹/۴۵۱	۰/۰۰۲
ɑ	عرض از مبدا	۲۶۲۹/۰۱۳	۰/۰۰۰
	جنسیت	۵/۷۵۱	۰/۰۴۴
	نوع	۲۵/۰۲۱	۰/۰۰۰
	نوع * جنسیت	۰/۰۳۷	۰/۸۴۸
a	عرض از مبدا	۱۳۳۰/۰۲۰	۰/۰۰۰
	جنسیت	۱۶/۲۱۴	۰/۰۰۴
	نوع	۲۱/۸۵۶	۰/۰۰۰
	نوع* جنسیت	۳۵/۶۳۴	۰/۰۰۰

بر پایهٔ نتایج جداول (۳) و (۴)، متغیر جنسیت بر میانگین بسامد سازهٔ اول و دوم واکهٔ /u/ در هر دو گروه دهانی و خیشومی‌شده تأثیر معنادار ندارد. یافته‌های جدول‌های (۳) و (۴) نشان می‌دهد که متغیر جنسیت بر میانگین بسامد سازهٔ اول واکهٔ /o/ در هر دو گروه دهانی و خیشومی‌شده تأثیر معنادار دارد. این تأثیر در هر یک از گروه‌های دهانی و خیشومی‌شده تأثیر یکسانی دارد. به

گونه‌ای‌که در هر دو گروه میانگین بسامد سازهٔ اول زنان بیش‌تر از مردان است و میزان تفاوت میان دو جنسیت در هر دو گروه تقریبا یکسان است. بر پایهٔ جدول (۵) در گروه خیشومی‌شده، بسامد سازهٔ اول زنان ۵۶۸/۵۵ هرتز و مردان ۴۹۹/۷۴ هرتز و در گروه دهانی بسامد سازهٔ اول زنان ۵۰۲/۹۲ هرتز و مردان ۴۳۹/۳۸ هرتز است. به همین سبب، تأثیر اصلی جنسیت معنادار شده‌است، اما تأثیر متقابل آن با نوع (دهانی یا خیشومی‌شدگی) معنادار نیست.

بر اساس یافته‌های جدول‌های بالا، متغیر جنسیت بر میانگین بسامد سازهٔ دوم واکهٔ /o/ در هر دو گروه دهانی و خیشومی‌شده تأثیر معنادار دارد. البته این تأثیر در هر یک از گروه‌های دهانی و خیشومی‌شده اثر یکسانی ندارد. به گونه‌ای‌که میانگین بسامد سازهٔ دوم زنان در گروه خیشومی‌شده کم‌تر از مردان و در گروه دهانی بیش‌تر از مردان است. بر اساس جدول (۵)، در گروه خیشومی‌شده بسامد سازهٔ دوم زنان ۹۹۱/۰۸ هرتز و مردان ۹۹۴/۶۲ هرتز و در گروه دهانی بسامد سازهٔ دوم زنان ۹۷۹/۱۸ هرتز و مردان ۹۳۲/۵۳ هرتز است. به همین سبب، تأثیر اصلی جنسیت معنادار نیست، اما تأثیر متقابل آن با نوع معنادار شده‌است.

بر پایهٔ نتایج جدول‌های (۳) و (۴)، متغیر جنسیت بر میانگین بسامد سازهٔ اول و دوم واکهٔ /ɑ/ در هر دو گروه دهانی و خیشومی‌شده تأثیر معنادار دارد. به گونه‌ای‌که میانگین بسامد سازهٔ اول و دوم زنان در هر دو گروه دهانی و خیشومی‌شده بیش‌تر از مردان است. برای نمونه، بر اساس جدول (۵) در گروه خیشومی‌شده بسامد سازهٔ اول زنان ۶۸۰/۷۳ هرتز و مردان ۶۰۲/۰۹ هرتز و بسامد سازهٔ دوم زنان ۱۱۲۸/۸۳ هرتز و مردان ۱۰۳۴/۲۵ هرتز است. لازم به اشاره است میزان تفاوت میانگین بسامد سازهٔ اول میان دو جنسیت در گروه دهانی بیش‌تر از گروه خیشومی‌شده است. به همین سبب، تأثیر متقابل جنسیت و نوع معنادار است. میزان تفاوت میانگین بسامد سازهٔ دوم میان دو جنسیت در هر دو گروه دهانی و خیشومی‌شده تقریباً یکسان است.

جدول ۵: شاخص‌های آماری F1 و F2 واکه‌های زبان فارسی به تفکیک جنسیت در دو گروه واکه‌های دهانی و خیشومی‌شده

واکه	جنسیت		نوع واکه	تعداد	میانگین	انحراف معیار
U	زن	F1	خیشومی‌شده	۹۱	۴۶۶/۹۵	۱۲۸/۹۱
			دهانی	۹۳	۴۰۶/۴۱	۲۷/۶۷
		F2	خیشومی‌شده	۹۱	۱۰۴۹/۰۲	۲۵۸/۹۴
			دهانی	۹۳	۹۵۴/۳۰	۱۶۴/۳۱
	مرد	F1	خیشومی‌شده	۷۰	۴۵۷/۳۰	۶۷/۱۱
			دهانی	۷۸	۳۵۷/۵۶	۳۴/۲۰
		F2	خیشومی‌شده	۷۰	۹۳۱/۸۹	۲۰۶/۰۱
			دهانی	۷۸	۸۵۸/۳۲	۱۳۳/۴۰

واکه	جنسیت		نوع واکه	تعداد	میانگین	انحراف معیار
i	زن	F1	خیشومی‌شده	۹۱	۳۶۷/۰۸	۵۸/۶۳
			دهانی	۹۴	۳۷۹/۵۶	۵۳/۴۸
		F2	خیشومی‌شده	۹۱	۲۶۲۱/۵۳	۱۹۲/۰۷
			دهانی	۹۴	۲۴۸۸/۳۸	۲۳۳/۴۶
	مرد	F1	خیشومی‌شده	۷۲	۳۷۸/۷۰	۵۲/۵۵
			دهانی	۷۰	۲۹۹/۷۰	۲۱/۹۳
		F2	خیشومی‌شده	۷۲	۲۴۲۶/۰۹	۱۱۶/۶۰
			دهانی	۷۰	۱۹۸۶/۹۴	۵۷/۴۱
o	زن	F1	خیشومی‌شده	۹۶	۵۶۸/۵۵	۱۰۲/۶۶
			دهانی	۹۶	۵۰۲/۹۲	۴۱/۳۵
		F2	خیشومی‌شده	۹۶	۹۹۱/۰۸	۹۸/۶۸
			دهانی	۹۶	۹۷۹/۱۸	۱۰۴/۶۴
	مرد	F1	خیشومی‌شده	۷۷	۴۹۹/۷۴	۷۲/۲۰
			دهانی	۷۱	۴۳۹/۳۸	۲۳/۱۹
		F2	خیشومی‌شده	۷۷	۹۹۴/۶۲	۲۰۶/۸۹
			دهانی	۷۱	۹۳۲/۵۳	۹۰/۲۹
e	زن	F1	خیشومی‌شده	۹۳	۵۶۷/۵۷	۷۶/۴۴
			دهانی	۹۲	۵۱۶/۷۲	۳۴/۸۹
		F2	خیشومی‌شده	۹۳	۲۱۴۸/۱۸	۱۲۴/۸۵
			دهانی	۹۲	۲۰۰۱/۴۲	۱۶۵/۶۳
	مرد	F1	خیشومی‌شده	۷۰	۴۶۷/۵۹	۶۲/۱۸
			دهانی	۷۴	۴۲۱/۴۲	۱۷/۱۲
		F2	خیشومی‌شده	۷۰	۱۷۸۱/۲۹	۱۹۵/۷۲
			دهانی	۷۴	۱۶۲۲/۷۷	۱۵۴/۶۱
ɑ	زن	F1	خیشومی‌شده	۹۴	۶۸۰/۷۳	۱۰۹/۰۸
			دهانی	۹۵	۶۴۶/۱۹	۴۰/۶۱
		F2	خیشومی‌شده	۹۴	۱۱۲۸/۸۳	۶۹/۰۸
			دهانی	۹۵	۱۰۹۶/۰۷	۹۷/۸۱
	مرد	F1	خیشومی‌شده	۷۴	۶۰۲/۰۹	۴۵/۵۰
			دهانی	۷۳	۵۳۸/۶۰	۲۳/۵۶
		F2	خیشومی‌شده	۷۴	۱۰۳۴/۲۵	۸۰/۷۲
			دهانی	۷۳	۹۷۱/۹۷	۷۹/۱۰
a	زن	F1	خیشومی‌شده	۸۹	۷۰۵/۳۲	۹۴/۷۰
			دهانی	۸۶	۷۸۴/۷۸	۷۷/۹۷
		F2	خیشومی‌شده	۸۹	۱۷۵۸/۰۵	۱۲۷/۲۰
			دهانی	۸۶	۱۷۷۸/۴۸	۹۵/۲۹
	مرد	F1	خیشومی‌شده	۷۶	۶۳۷/۱۶	۷۶/۳۳
			دهانی	۷۷	۶۲۶/۷۲	۳۶/۴۹
		F2	خیشومی‌شده	۷۶	۱۵۱۷/۳۸	۱۱۲/۶۰
			دهانی	۷۷	۱۳۶۹/۴۲	۱۷۶/۳۱

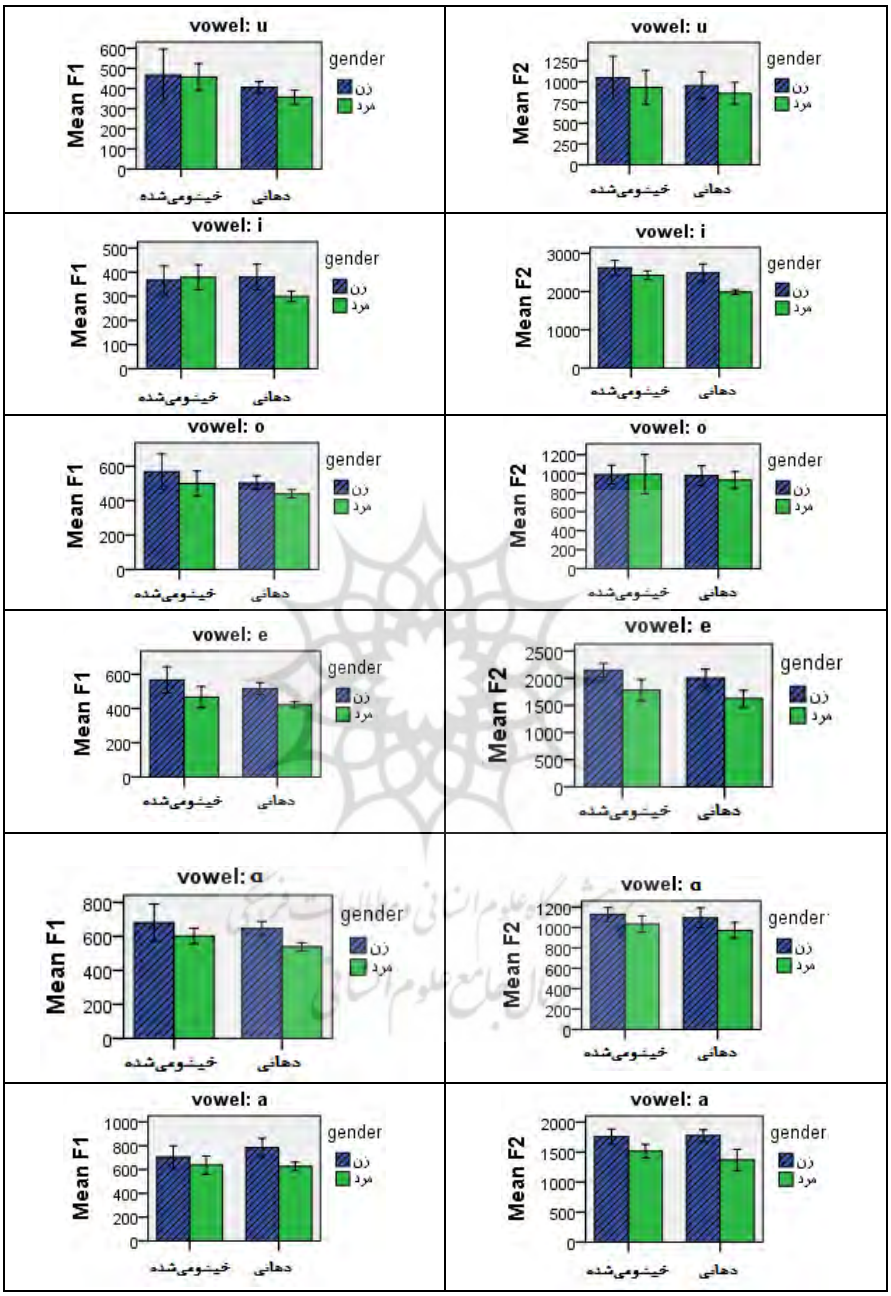
بر پایهٔ یافته‌های جدول‌های (۳) و (۴)، متغیر جنسیت بر میانگین بسامد سازهٔ اول واکهٔ /i/ در هر دو گروه دهانی و خیشومی‌شده تأثیر معناداری دارد. البته این تأثیر در هر یک از گروه‌های دهانی و خیشومی‌شده تأثیر یکسانی ندارد. به گونه‌ای‌که میانگین بسامد سازهٔ اول زنان در گروه خیشومی‌شده کم‌تر از مردان و در گروه دهانی بیش‌تر از مردان است. بر اساس جدول (۵)، در گروه خیشومی‌شده بسامد سازهٔ اول زنان ۳۶۷/۰۸ هرتز و مردان ۳۷۸/۷ هرتز و در گروه دهانی بسامد سازهٔ اول زنان ۳۷۹/۵۶ هرتز و مردان ۲۹۹/۷ هرتز است.

بر اساس یافته‌های جدول‌های بالا، متغیر جنسیت بر میانگین بسامد سازهٔ دوم واکهٔ /i/ در هر دو گروه دهانی و خیشومی‌شده تأثیر معنادار دارد. به گونه‌ای‌که میانگین بسامد سازهٔ دوم زنان در هر دو گروه دهانی و خیشومی‌شده بیش‌تر از مردان است. بر پایهٔ جدول (۵) در گروه خیشومی‌شده بسامد سازهٔ دوم زنان ۲۶۲۱/۵۳ هرتز و مردان ۲۴۲۶/۰۹ هرتز و در گروه دهانی بسامد سازهٔ دوم زنان ۲۴۸۸/۳۸ هرتز و مردان ۱۹۸۶/۹۴ هرتز است. هر چند میزان تفاوت میانگین بسامد سازهٔ دوم میان دو جنسیت در گروه دهانی بیشتر از گروه خیشومی‌شده است.

بر پایهٔ نتایج جدول‌های (۳) و (۴)، متغیر جنسیت بر میانگین بسامد سازهٔ اول و دوم واکهٔ /e/ در هر دو گروه دهانی و خیشومی‌شده تأثیری معنادار دارد. به گونه‌ای‌که میانگین بسامد سازهٔ اول و دوم زنان در هر دو گروه دهانی و خیشومی‌شده بیش‌تر از مردان است. برای نمونه، بر پایهٔ جدول (۵) در گروه خیشومی‌شده بسامد سازهٔ اول زنان ۵۶۷/۵۷ هرتز و مردان ۴۶۷/۵۹ هرتز است. در همین گروه، بسامد سازهٔ دوم زنان ۲۱۴۸/۱۸ هرتز و مردان ۱۷۸۱/۲۹ هرتز است. میزان تفاوت میانگین بسامد سازهٔ اول میان دو جنسیت در هر دو گروه دهانی و خیشومی‌شده یکسان است، اما میزان تفاوت میانگین بسامد سازهٔ دوم در گروه خیشومی‌شده بیش‌تر از گروه دهانی است.

بر پایهٔ یافته‌های جدول (۳) و (۴)، متغیر جنسیت بر میانگین بسامد سازهٔ اول و دوم واکهٔ /a/ در هر دو گروه دهانی و خیشومی‌شده تأثیر معنادار دارد. به گونه‌ای‌که میانگین بسامد سازهٔ اول و دوم زنان در هر دو گروه دهانی و خیشومی‌شده بیش‌تر از مردان است. همچنین میزان اختلاف میانگین بسامدها میان دو جنسیت در گروه دهانی بیش‌تر از گروه خیشومی‌شده است. برای نمونه، بر پایهٔ جدول (۵) در گروه دهانی بسامد سازهٔ اول زنان ۷۸۴/۷۸ هرتز و مردان۶۲۶/۷۲ هرتز و در همین گروه بسامد سازهٔ دوم زنان ۱۷۷۸/۴۸ هرتز و مردان ۱۳۶۹/۴۲ هرتز است.

شکل(۴)، نمودارهای میله‌ای میانگین بسامد سازهٔ اول و دوم واکه‌های زبان فارسی را به تفکیک جنسیت در دو گروه واکه‌های دهانی و خیشومی‌شده نشان می‌دهند.



شکل۴: نمودار میله‌ای میانگین بسامد F1 و F2 واکه‌های زبان فارسی به تفکیک جنسیت در دو گروه واکه‌های دهانی و خیشومی‌شده

۵. ۳. تأثیر عامل خیشومی‌شدگی بر گسترهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم واکه‌های زبان فارسی

در این بخش، هدف بررسی تأثیر عامل خیشومی‌شدگی بر گسترهٔ بسامدی سازهٔ اول یا F1 span و گسترهٔ بسامدی سازهٔ دوم یا F2 span واکه‌های زبان فارسی است.

گسترهٔ بسامدی سازه‌های اول و دوم از رابطهٔ (۱) و (۲) به دست می‌آید (Becker-Kristal, 2010 quoted from Alinezhad, 2016, p. 105):

F1 span = F1 maximum value – F1 minimum value **معادله (۱)**

F2 span = F2 maximum value – F2 minimum value **معادله (۲)**

برای نمونه، اگر تفاضل کمینه بسامد سازهٔ اول واکهٔ /u/ از بیشینه بسامد سازهٔ اول واکهٔ /ɑ/ محاسبه شود، گسترهٔ سازهٔ اول یعنی ضلع پسین چند ضلعی به دست می‌آید. برای محاسبه گسترهٔ سازهٔ دوم نیز تفاضل کمینه و بیشینه بسامد واکه‌های /u/ و /i/ محاسبه می‌شود. دو ضلع دیگر نیز به همین ترتیب با توجه به واکه‌هایی که در دو انتهای اضلاع مورد نظر قرار دارند، محاسبه می‌شود (Alinezhad, 2016, p. 101).

از سوی دیگر، گسترهٔ بسامدی فضای واکه‌ای را می‌توان به روش پاجت و تابایِن (Padgett & Tabain, 2005 quoted from Alinezhad, 2016, p. 104) از تفاضل حاصل جمع میانگین بسامد سازهٔ اول واکهٔ /ɑ/ با میزان انحراف استاندارد آن به دست آورد. همچنین می‌توان حاصل افتراق میانگین بسامد سازهٔ اول واکهٔ /u/ و میزان انحراف استاندارد آن برای هر گوینده به دست آورد. دلیل استفاده از میزان انحراف استاندارد در این روش این است که به وسیله آن می‌توان تناسب دقیق میزان توزیع داده‌ها را بدون در نظر گرفتن داده‌های پرت به دست آورد. برای نمونه، فرض شود برای شخصی معین، میزان میانگین بسامد سازهٔ اول برای واکهٔ /ɑ/ برابر با m_1 و انحراف استاندارد آن برابر با d_1 باشد. همچنین به طور مشابه میزان میانگین بسامد سازهٔ اول برای واکهٔ /u/ برابر با m_2 و انحراف استاندارد آن برابر با d_2 باشد. در این صورت، گسترهٔ فضای واکه‌ای برای بسامد سازهٔ اول برای این شخص برابر با معادله زیر است،

$(m_1+d_1)-(m_2-d_2)$

که با نماد diff.F1 نشان داده می‌شود.

جدول (۶) با استفاده از آزمون ناپارامتری من-ویتنی[1] به بررسی تأثیر عامل خیشومی‌شدگی بر گسترهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم واکه‌های زبان فارسی پرداخته‌است. جدول (۷) با استفاده از همین

[1] Mann-Whithney

آزمون به بررسی تأثیر خیشومی‌شدگی بر گسترهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم واکه‌های زبان فارسی در دو گروه زنان و مردان پرداخته‌است.

جدول ۶: آزمون ناپارامتری تأثیر خیشومی‌شدگی بر گسترهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم واکه‌های زبان فارسی

عامل	آمارهٔ آزمون	سطح معناداری
F1.diff	-۰/۳۰۹	۰/۷۵۷
F2.diff	-۱/۱۹۲	۰/۲۳۳
F1.span	-۰/۳۰۹	۰/۷۵۷
F2.span	-۱/۲۸۰	۰/۲۰۰

همان‌گونه که در جدول (۶) مشاهده می‌شود، با توجه به سطح معناداری که از ۰/۰۵ بزرگ‌تر است، عامل خیشومی‌شدگی بر مقادیر گسترهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم واکه‌های زبان فارسی تأثیر معناداری ندارند.

جدول ۷ :آزمون ناپارامتری تأثیر خیشومی‌شدگی برگسترهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم واکه‌های زبان فارسی در دو گروه زنان و مردان

گروه مردان			گروه زنان		
سطح معناداری	آمارهٔ آزمون	عامل	سطح معناداری	آمارهٔ آزمون	عامل
۰/۳۸۶	-۰/۸۶۶	F1.diff	۰/۹۱۷	-۰/۱۰۴	F1.diff
۰/۰۲۱	-۲/۳۰۹	F2.diff	۰/۷۵۴	-۰/۳۱۳	F2.diff
۰/۳۸۶	-۰/۸۶۶	F1.span	۰/۳۴۷	-۰/۹۴۰	F1.span
۰/۰۲۱	-۲/۳۰۹	F2.span	۰/۹۱۷	-۰/۱۰۴	F2.span

یافته‌های جدول (۷)، نشان می‌دهد که هم در گروه زنان و هم در گروه مردان، فرض برابری فاکتورهای F1.diff و F1.span در دو گروه دهانی و خیشومی‌شده رد نمی‌شود. همچنین، در گروه زنان نیز فرض برابری فاکتورهای F2.diff و F2.span در دو گروه دهانی و خیشومی‌شده رد نمی‌شود. این در حالی است که در گروه مردان سطح معناداری برای این دو فاکتور از ۰/۰۵ کم‌تر شده‌است و اختلاف میان دو گروه معنادار است.

جدول (۸)، شاخص‌های آماری گسترهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم واکه‌های زبان فارسی را به تفکیک دو عامل دهانی و خیشومی‌شدگی در دو گروه زنان و مردان نشان می‌دهد. بر اساس

میانگین‌های محاسبه شده در این جدول، به خوبی می‌توان در گروه مردان، اختلاف میانگین گسترهٔ بسامدی سازهٔ دوم را در دو گروه دهانی و خیشومی‌شده مشاهده کرد. به طوری‌که میانگین فاکتورهای F2.diff و F2.span در گروه واکه‌های خیشومی‌شده بیش‌تر از دهانی است.

جدول ۸: شاخص‌های آماری گسترهٔ بسامدی F1 و F2 واکه‌های زبان فارسی به تفکیک دو گروه دهانی و خیشومی‌شده در دو گروه زنان و مردان

جنسیت	نوع		F1. Diff	F2. Diff	F1. Span	F2. Span
زن	خیشومی‌شده	تعداد	۵	۵	۵	۵
		میانگین	۳۱۶/۵۲	۱۷۸۶/۶۵	۳۸۵/۶۰	۱۹۲۹/۸۴
		انحراف معیار	±۱۵۱/۹۹	±۳۶۱/۸۷	±۱۳۲/۲۹	±۳۶۶/۴۱
	دهانی	تعداد	۵	۵	۵	۵
		میانگین	۲۷۰/۷۴	۱۷۸۶/۵۶	۳۰۲/۱۶	۱۹۴۳/۵۹
		انحراف معیار	±۶۰/۱۹	±۲۵۷/۴۶	±۸۱/۷۸	±۲۵۱/۹۲
مرد	خیشومی‌شده	تعداد	۴	۴	۴	۴
		میانگین	۱۹۸/۰۴	**۱۶۷۸/۸۱**	۲۲۳/۲۳	**۱۸۴۴/۳۹**
		انحراف معیار	±۱۱۹/۲۱	±۱۰۷/۳۱	±۱۱۴/۹۵	±۸۲/۰۸
	دهانی	تعداد	۴	۴	۴	۴
		میانگین	۲۱۸/۴۳	**۱۲۹۱/۹۷**	۲۴۵/۲۱	**۱۳۹۲/۸۴**
		انحراف معیار	±۳۷/۳۵	±۷۲/۹۹	±۳۱/۶۷	±۷۰/۱۳

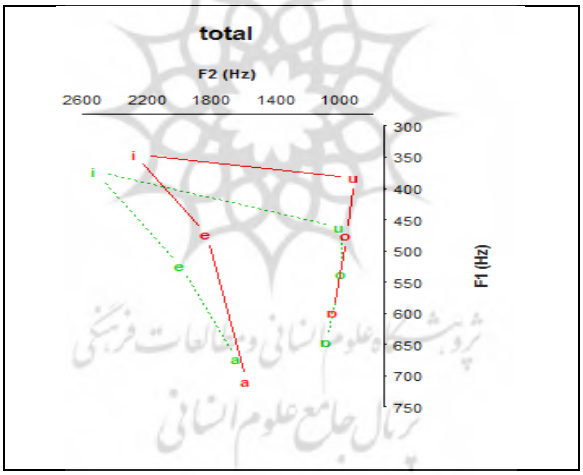
۵. ۴. نمودار فضای واکه‌ای واکه‌های دهانی و خیشومی‌شدهٔ زبان فارسی

برای ترسیم نمودار فضای واکه‌ای از نرم‌افزار آر[1] و بسته فون آر[2] مطابق با دستورالعمل ریچارد جانسون و ویچرن (Johnson & Wichern, 2002) در تحلیل آماری کاربردی چند متغیره استفاده شده‌است. نمودار فضای واکه‌ای واکه‌های دهانی و خیشومی‌شده در شکل (۵) نشان داده شده‌است. شکل (۶ الف) نمودار فضای واکه‌ای واکه‌های دهانی و خیشومی‌شده را در گروه مردان و (۶ب) نمودار فضای واکه‌ای واکه‌های دهانی و خیشومی‌شده را در گروه زنان نشان می‌دهند. شکل (۷ الف) نمودار فضای واکه‌ای واکه‌های دهانی را به تفکیک دو گروه زنان و مردان و (۷ ب) نمودار فضای واکه‌ای واکه‌های خیشومی‌شده را به تفکیک دو گروه زنان و مردان نشان می‌دهند.

[1] R Package Software
[2] phone R

بر پایهٔ شکل (۵)، تأثیر معنادار دو عامل دهان و خیشوم بر بسامد سازهٔ اول و بسامد سازهٔ دوم تمامی واکه‌های زبان فارسی به روشنی آشکار است. در شکل (۵)، جابه‌جایی سازه‌های اول و دوم واکه‌های خیشومی‌شده به سمت بسامد بیش‌تر مشهود است. همچنین با توجه به شکل (۵) و بر پایهٔ نتایج جدول (۲) در زیر بخش (۵-۱) میزان اختلاف میانگین بسامد سازهٔ دوم بین دو گروه دهانی و خیشومی‌شده در واکه‌های پیشین بیش‌تر از واکه‌های پسین است. در گروه واکه‌های پیشین، این اختلاف بسامد در واکه‌های افتاده کم‌تر از واکه‌های افراشته و میانی است.

همان‌گونه که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، یافته‌های رایت (Wright, 1986) در پیوند با جایگاه واکه‌های خیشومی‌شدهٔ افراشته و افتاده در مقایسه با همتای دهانی‌شان در فضای واکه‌ای در مورد واکه‌های زبان فارسی نیز (به جز واکهٔ /ɑ/) صادق است. بر پایهٔ شکل زیر، واکه‌های خیشومی‌شدهٔ افراشته نسبت به همتای دهانی‌شان در جایگاه پائین‌تری قرار دارند و واکهٔ خیشومی‌شدهٔ افتاده /a/ نسبت به همتای دهانی‌اش در جایگاه بالاتری قرار دارد.



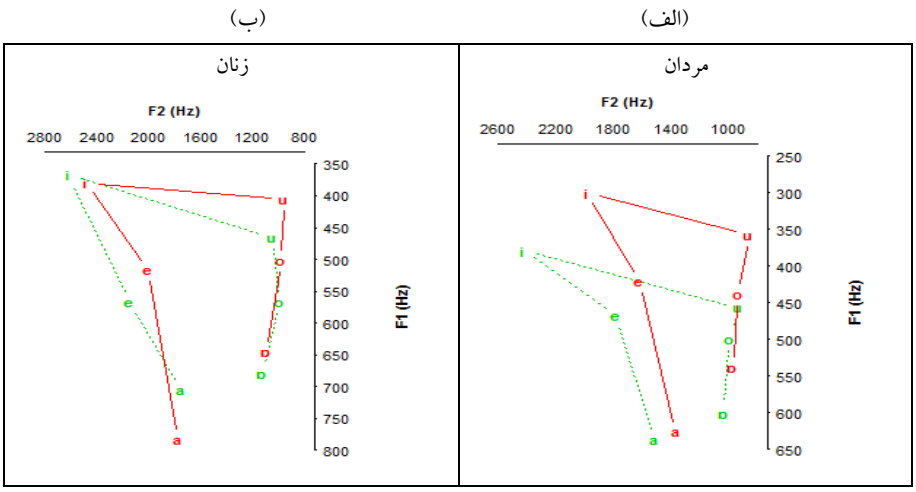
شکل ۵: نمودار فضای واکه‌ای واکه‌های دهانی و خیشومی‌شدهٔ زبان فارسی[۱]

جابه‌جایی سازه‌های واکه‌های خیشومی‌شده به سمت بسامد بیش‌تر، در فضای واکه‌ای مردان و زنان نیز به ترتیب در شکل‌های (۶ الف) و (۶ ب) به صورت تقریبی آشکار هستند.

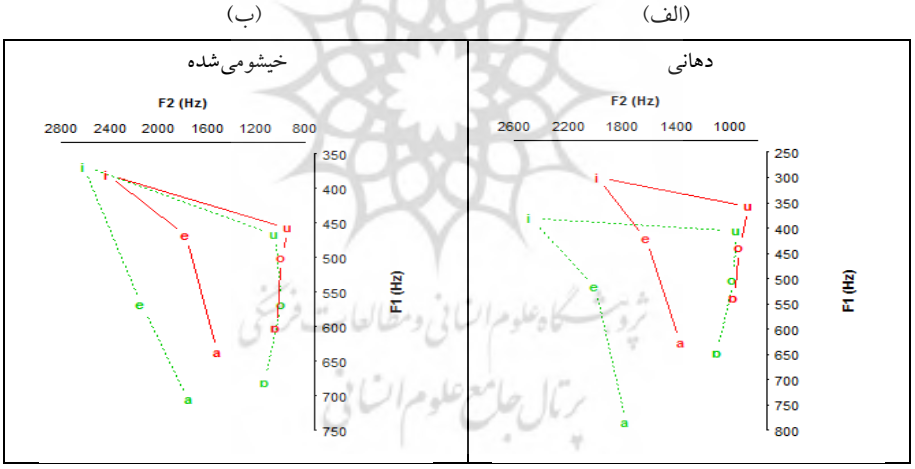
همان‌گونه که در شکل (۷ الف) و (۷ ب) مشاهده می‌شود و بر پایهٔ یافته‌های جدول (۵) در زیر بخش (۵-۲)، فضای واکه‌ای زنان در هر دو گروه واکه‌های دهانی و خیشومی‌شده بزرگ‌تر از فضای واکه‌ای مردان است.

---

[۱] خط‌های نقطه‌چین واکه‌های خیشومی‌شده و خط‌های پررنگ واکه‌های دهانی را نشان می‌دهند.



شکل ۶: الف نمودار فضای واکه‌ای واکه‌های دهانی و خیشومی‌شده در گروه مردان و ب نمودار فضای واکه‌ای واکه‌های دهانی و خیشومی‌شده در گروه زنان[۱]



شکل ۷: الف نمودار فضای واکه‌ای واکه‌های دهانی به تفکیک دو گروه زنان و مردان و ب نمودار فضای واکه‌ای واکه‌های خیشومی‌شده به تفکیک دو گروه زنان و مردان[۲]

۶. نتیجه‌گیری

این پژوهش در پی بررسی تأثیر خیشومی‌شدگی بر بسامد سازهٔ اول و دوم واکه‌های زبان فارسی و بررسی تأثیر این عامل بر گسترهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم واکه‌های زبان فارسی بوده‌است. به این

---

[۱] خط‌های نقطه‌چین واکه‌های خیشومی‌شده و خط‌های پررنگ واکه‌های دهانی را نشان می‌دهند.

[۲] خط‌های نقطه‌چین، فضای واکه‌ای زنان و خط‌های پررنگ فضای واکه‌ای مردان را نشان می‌دهد.

منظور، به مقایسهٔ دو گروه واکه‌های دهانی و خیشومی‌شده پرداخته‌است. در نهایت نمودار فضای واکه‌ای این دو گروه از واکه‌ها را ترسیم شده‌است. همچنین مقالهٔ حاضر، تأثیر متغیر جنسیت را بر بسامد سازه‌های اول و دوم واکه‌ها در دو بافت دهانی و خیشومی‌شده مورد بررسی قرار داده‌است.یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که خیشومی‌شدگی بر میزان بسامد سازهٔ اول و دوم تمامی واکه‌های زبان فارسی تأثیری معنادار دارد. به گونه‌ای که میزان بسامد سازهٔ اول تمامی واکه‌های خیشومی‌شده به جز واکهٔ /a/ از واکه‌های دهانی بیش‌تر است. میزان بسامد سازهٔ اول واکهٔ خیشومی‌شدهٔ /a/ از همتای دهانی‌اش کم‌تر است. همچنین تمامی واکه‌های خیشومی‌شده نسبت به واکه‌های دهانی از میزان بسامد سازهٔ دوم بیش‌تری برخوردارند.

همچنین در این مقاله معلوم شد که خیشومی‌شدگی بر گسترهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم واکه‌های زبان فارسی تأثیر معناداری ندارد. بررسی واکه‌های دهانی و خیشومی‌شده به تفکیک دو گروه زنان و مردان نیز این نتیجه را تا اندازهٔ زیادی تأیید می‌کند. همان‌گونه که در زیر بخش ۵-۳ اشاره شد، در گروه زنان خیشومی‌شدگی بر گسترهٔ بسامدی سازه‌های اول و دوم واکه‌ها تأثیر معناداری ندارد. در گروه مردان در حالی‌که عامل خیشومی‌شدگی بر گسترهٔ بسامدی سازهٔ اول تأثیر معناداری ندارد، اما بر گسترهٔ بسامدی سازهٔ دوم تأثیر معنادار دارد. البته این معناداری ممکن است فقط مختصِ گویشوران مرد این تحقیق باشد و قابل تعمیم نیست.

علاوه بر این، یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد متغیر جنسیت در هر دو گروه دهانی و خیشومی‌شده بر بسامد سازهٔ اول و دوم واکه‌ها به جز واکه /u/ تأثیر معنادار دارد. این تأثیرات این‌گونه است که در هر دو گروه دهانی و خیشومی‌شده بسامد سازهٔ اول واکه‌های /o/، /ɑ/، /e/ و /a/ در گروه زنان بیش‌تر از مردان است. در گروه خیشومی‌شده، بسامد سازهٔ اول واکه /i/ در گروه زنان کم‌تر از مردان و در گروه دهانی بسامد سازهٔ اول این واکه در گروه زنان بیش‌تر از مردان است. در هر دو گروه دهانی و خیشومی‌شده، بسامد سازهٔ دوم واکه‌های /ɑ/، /i/، /e/ و /a/ در گروه زنان بیش‌تر از مردان است. در گروه خیشومی‌شده، بسامد سازهٔ دوم واکه /o/ در گروه زنان کم‌تر از مردان و در گروه دهانی بسامد سازهٔ دوم این واکه در گروه زنان بیش‌تر از مردان است. علاوه بر این، بر پایهٔ شکل (۶)، در هر دو گروه دهانی و خیشومی‌شده فضای واکه‌ای زنان بزرگ‌تر از فضای واکه‌ای مردان است.

فهرست منابع

اسفندیاری، نسیم و علی‌نژاد، بتول (۱۳۹۴). «بهنجارسازی فضای واکه‌ای زبان فارسی». *پژوهش‌های زبان‌شناسی*. سال ۷. شمارهٔ ۲. صص ۱۵-۳۴.

بی‌جن‌خان، محمود (۱۳۹۲). *نظام آوایی زبان فارسی*. تهران: انتشارات سمت.

حق‌شناس، علی محمد (۱۳۵۶). *آواشناسی (فونتیک)*. تهران: انتشارات آگاه.

جعفری، زینب و بتول علی‌نژاد (۱۳۹۶). بررسی صوت‌شناختی ناحیه بسامدی پادسازه در خیشومی‌های زبان فارسی. *زبان‌پژوهی*. دوره ۹. شماره ۲۴. صص ۵۸-۳۳.

علی‌نژاد، بتول و فهیمه حسینی‌بالام (۱۳۹۱). *مبانی آواشناسی آکوستیکی*. اصفهان: انتشارات دانشگاه اصفهان.

علی‌نژاد، بتول (۱۳۹۵). «تأثیر تعداد واکه بر مساحت فضای واکه‌ای زبان فارسی و مازندرانی: پیش‌بینی کلیدی نظریهٔ پراکندگی سازگار یافته». *پژوهش‌های زبانی*. سال ۷. شمارهٔ ۱. صص ۹۷-۱۱۵.

قرائتی، سپیده (۱۳۸۹). *بررسی صوت‌شناختی تکیه واژگانی در زبان فارسی*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه اصفهان.

کرد زعفرانلو کامبوزیا، عالیه، مهدیه سیدزاده اقدم و فردوس آقاگل زاده (۱۳۹۱). «بررسی ویژگی‌های خانواده‌های زبانی و تأثیر آن بر روی انواع خطاهای تولیدی در افراد دارای شکاف کام پس از عمل جراحی». *زبان‌شناخت*. سال ۳. شمارهٔ ۵. صص ۵۳-۷۰.

محمدی، هیوا، ریحانه محمدی، فرهاد ترابی‌نژاد و منصور رضایی (۱۳۹۰). «تعیین ساختار سازه‌ای و فضای واکه‌ای در واکه‌های زبان فارسی». *شنوایی شناسی*. دورهٔ ۲۰. شمارهٔ ۲. صص ۷۹-۸۵.

مدرسی قوامی، گلناز (۱۳۹۰). *آواشناسی: بررسی علمی گفتار*. تهران: انتشارات سمت.

مدرسی قوامی، گلناز (۱۳۹۲). «تأثیر تکیهٔ واژگانی بر ویژگی‌های کیفی واکه‌های ساده زبان فارسی». *علم زبان*. سال ۱. شمارهٔ ۱. صص ۴۱-۵۶.

References

Alinezhad, B. (2016). The effect of the number of vowels on the size of vowel spaces: adaptive dispersion theory's key prediction. *Journal of Language Researches, 7*(1), 97-115 [In Persian].

Alinezhad, B., & Hosseinibalam, F. (2012). *Fundamentals of acoustics phonetics*. Isfahan: Isfahan University Press [In Persian].

Becker-Kristal, R. (2010). *Acoustic typology of vowel inventories and dispersion theory: insights from a large cross-linguistic corpus* [Unpublished PhD dissertation], University of California, Los Angeles, California.

Bijankhan, M. (2013). *Phonetic system of the Persian language*. Tehran: Samt [In Persian].

Esfandiari, N., & Alinezhad, B. (2015). Persian vowel space normalization. *Journal of Researches in Linguistics, 2*(2), 15-34 [In Persian].

Esfandiari, N., Alinezhad, B., & Rafiei, A. (2015). Vowel classification and vowel space in Persian. *Theory and Practice in Language Studies, 5*(2), 426-434.

Essner, G. (1947). Recherche sur la structure des voyelles orales. *Archives Neerlandaises de Phonetique Experimentale, 20*, 40-77.

Gharaati, S. (2010). *An acoustic study of lexical stress in Persian* [Unpublished Master's thesis], University of Isfahan, Isfahan, Iran [In Persian].

Giacomino, L. (2012). Comparative analysis of vowel space of L1 Spanish speakers and general American English. *Linguistic Portfolios, 1*, 1-15. https://pdfs.semanticscholar.org/17b8/8cb078f32379a9a7a3a5246192c5e4459162.pdf>

Haghshenas, A. M. (1977). *Phonetics*. Tehran: Agah [In Persian].
Harrington, J. (2010). *Phonetic analysis of speech corpora*. London: Wiley-Blackwell Publication.
Hayward, K. (2000). *Experimental phonetics*. London: Longman Linguistics Library.
Hillenbrand, J. M., Getty, L. A., Clark, M. J., & Wheeler, K. (1995). Acoustics characteristics of American English vowels. *Journal of the Acoustical Society of America*, *97*(5), 3099-3111.
Jafari, Z., & Alinezhad, B. (2017). An acoustic study of frequency area of antiformant in Persian Nasals. *Zabanpazhuhi*, *9*(24), 33-58 [In Persian].
Johnson, K. (2012). *Acoustic and auditory phonetics* (3rd ed.). Oxford: Blackwell Publishing.
Johnson, R. A., & Wichern, D. W. (2002). *Applied multivariate analysis* (5th ed.). United States: Prentice Hall Publishing.
Jongman, A., Fourakis, M., & Sereno, J. A. (1989). The acoustic vowel space of modern Greek and German. *Language and Speech*, *32*(3), 221-248.
Joos, M. (1948). Acoustic Phonetics. *Language*, *24*, 1-136.
Klein, W., Plomp, R., & Pols, L. C. W. (1970). Vowel spectra, vowel spaces, and vowel identification. The *Journal of the Acoustical Society of America*, *48*, 999-1009.
Kord Zaferanloo Kamboozia, A., Seyyedzade Aghdam, M., & Aghagolzade, F. (2012). Study of language family and effect of disorder articulation in cleft palate persons after surgery. *Language Study*, *3*(1), 53-70 [In Persian].
Ladefoged, P. (2001). *Vowels and consonants: an introduction to the sounds of languages*. Oxford: Blackwell Publishing.
Modarresi Ghavami, G. (2011). *Phonetics: the scientific study of speech*. Tehran: SAMT [In Persian].
Modarresi Ghavami, G. (2013). The effect of lexical stress on Persian simple vowels' qualitative features. *Language Science*, *1*(1), 41-56 [In Persian].
Mohammadi, H., Mohammadi, R., Torabinezhad, F., & Rezaei, M. (2011). Formant structure and vowel space in Persian vowels. *Audiol*, *20*(2), 79-85 [In Persian].
Most, T., Amir, O., & Tobin, Y. (2000). The Hebrew vowel system: raw and normalized acoustic data. *Language and Speech*, *43*(3), 295-308.
Packer, C. B., & Lorincz, K. (2013). Acoustic vowel space analysis of an English language learner. *Linguistic Portfolios*, *2*, 17-30. https://pdfs.semanticscholar.org/bf72/da25e777fdae96e2028c0a92d5e9de2a7851.pdf
Padgett, J., & Tabain, M. (2005). Adaptive dispersion theory and phonological vowel reduction in Russian. *Phonetica*, *62*, 14-54.
Peterson, G. E., & Barney, H. L. (1952). Control methods used in a study of the vowels. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *24*(2), 175-184.
Schwartz, M. F. (1968). The acoustics of normal and nasal vowel production. *Cleft Palate Journal*, *5*, 125-140.
Stevens, K. N. (1999). *Acoustic phonetics*. Cambridge: MIT Press.
Wright, J. T. (1986). The behavior of nasalized vowels in the perceptual vowel space. In J. J. Ohala & J. J. Jaeger (Eds.), *Experimental Phonology* (pp. 45-67). New York: Academic Press.

The Vowel Space of Persian Nasalized Vowels

Zeynab Jafari[1]
Batool Alinezhad[2]

Received: 25/07/2018
Accepted: 22/10/2018

Abstract

This paper is an acoustic analysis of Persian nasalized vowels which aims to develop an acoustic vowel space of these vowels compared to that of oral vowels (the vowel space provides a graphical method for showing where a speech sound, such as a vowel, is located in both "acoustic" and "articulatory" space. The illustration shows an acoustic vowel space based on the first two formants for vowels. The vertical axis represents the frequency of the first formant (F1) and the horizontal axis shows the frequency gap between the first two formants (F2-F1) (Giacomino, 2012). In this regard, such a survey is investigating the effect of nasalization on the first and second formants of Persian vowels as well as the effect of this factor on their F1span and F2span. In addition, this article studies the effect of gender on the first two formants of oral and nasalized vowels.

In order to reach the purposes of this survey, the speech of a total of ten Persian speakers, including five women and five men were recorded. All of the speakers were between the ages of 25 and 35. A list of forty-eight words (the words were embedded in a common carrier sentence) was presented to the speakers and their utterances of the words were recorded with a Huawei G750-U10 sound recorder. The words the participants had to pronounce were two to three syllabic nouns and adjectives. The findings of this paper are based on the pronunciation of six vowels, i.e., /i/, /e/, /a/, /ɑ/, /o/ and /u/ found in the unstressed syllable of these words. Some of these unstressed syllables contained a consonant-vowel-consonant phoneme structure (i.e. /CVC/) and some others contained a nasal-vowel-nasal one (i.e. /NVN/) in order to examine oral and nasal vowels, respectively.

Each word was uttered five times by each speaker, so each one provided 240 tokens. Collectively, 2400 tokens were provided by the participants. The recorded words were converted to .WAV files and analyzed acoustically with the free program, Praat (an online open source software designed for acoustic phonetic

[1] PhD Candidate, Linguistics Department, Faculty of Foreign Languages, University of Isfahan (corresponding author); jafari.z@fgn.ui.ac.ir
[2] Associate Professor, Linguistics Department, Faculty of Foreign Languages, University of Isfahan; b.alinezhad@fgn.ui.ac.ir

analyses). The data taken were the first two vowel formants, i.e., F1 and F2. For the purposes of this study the central part of each vowel, which reaches a practically steady state, was measured. Averages were taken for each value for each speaker and then calculated for the entire group. It should be mentioned that mahalanobis distance criterion was used to remove outlier data. Generally, this criterion is used when the data are two-dimensional.

The data, when so analyzed statistically, reveal that nasalization significantly affects all vowels' first and second formants. In fact, the F1 frequency of the nasalized vowels, except for the vowel /a/, is more than that of oral vowels. In comparison with the oral vowel /a/, the F1 frequency of its nasalized counterpart is less. Moreover, the F2 frequency of the nasalized vowels is more than that of oral vowels.

It is also found that nasalization has no significant effect on vowels' F1span and F2span.

The data show that, gender significantly affects the frequency of the first two formants in both oral and nasalized vowels, except for the vowel /u/. The effects may be indicated as follows.

a. In nasalized vowels as well as oral ones, the F1 frequency of the vowels /o/, /ɑ/, /e/ and /a/ for female speakers is more than that of these vowels for male ones. Additionally, the F1 frequency of the nasalized vowel /i/ for females is less than that of this vowel for males, but conversely, the F1 frequency of the oral one for females is more than that of this vowel for males.

b. In both nasalized and oral vowels, the F2 frequency of the vowels /ɑ/, /i/, /e/ and /a/ for female speakers is more than that of these vowels for male ones. Furthermore, the F2 frequency of the nasalized vowel /o/ for females is less than that of this vowel for males but conversely, the F2 frequency of the oral one for females is more than that of this vowel for males.

Finally, it should be noted that the vowel space has been studied in different languages, for instance, the studies of Barney and Peterson (1952), and Hillenbrand et al. (1995) on English vowels, Klein's study (1970) on Dutch vowels, the survey of Johngman et al. (1989) on modern Greek and German vowels, and the article of Most et al. (2000) on Hebrew Vowels. There are also some papers on Persian vowel space, such as Gharaati (2010), Mohammadi et al. (2011), Bijankhan (2013), Modarresi Ghavami (2013), Esfandiari and Alinezhad (2015), and Alinezhad (2016).

Keywords: Vowel space, Oral vowels, Nasalized vowels, Persian