



بررسی موج چاکنایی همخوان روان /r/ در زبان فارسی

عقیقه السادات احمدی^۱

بتول علی‌نژاد^۲

چکیده

همخوان‌های روان تنها همخوان‌های رسا هستند که دارای مشخصه واکه‌ای (vocalic) می‌باشند. این همخوان‌ها برخلاف همخوان‌های گرفته، دارای واکداری ذاتی هستند؛ بدین معنی که واکداری در تمام مرحله گیرش تولید این همخوان‌ها به‌خصوص در موضع آغازین و در محیط واکه مشاهده می‌شود. هدف این مقاله بررسی موج چاکنایی همخوان روان /r/ در زبان فارسی و در ۱۱ بافت آوایی است. بدین‌جهت، صدای ۱۰ گویشور زبان فارسی معیار (۵ زن و ۵ مرد) با استفاده از دستگاه حنجره‌نگار (EGG) ضبط و سپس با نرم‌افزارهای Praat، Speech Studio و EGG Works مرحله بسته‌بودن هر یک از دوره‌ها اندازه‌گیری شد. نتیجه‌ی بررسی نشان می‌دهد که بافت آغاز واژه، بین دو واکه، قبل و بعد از همخوان‌های واکدار باعث کاهش نسبت بسته‌بودن موج چاکنایی /r/ می‌شود، بدین معنا که مدت‌زمان بسته‌بودن تارهای صوتی بیشتر از مدت‌زمان باز بودن تارهای صوتی است. همچنین همخوان /r/ در بافت بین دو واکه، به‌صورت زنجری تولید می‌شود و نیز در پایان واژه، بعد از همخوان‌های بیواک و واکدار و در میان واژه، قبل از همخوان‌های بیواک و در پایان واژه، بعد از واکه‌ها واکرفته می‌شود و فرایند تولید این همخوان در پایان واژه و بعد از همخوان‌های بیواک و واکدار با سایش همراه است. همچنین در تمام تلفظ‌های /r/ بین زنان و مردان تفاوت وجود دارد و بیانگر تأثیر جنسیت بر تولید موج چاکنایی است.

کلیدواژه‌ها: موج چاکنایی، نسبت بسته‌بودن، همخوان‌های روان، دستگاه حنجره‌نگار.

✉ afifeh68@yahoo.com

✉ alinezhadbatool@gmail.com

۱- کارشناسی ارشد زبان‌شناسی دانشگاه اصفهان (نویسنده مسئول)

۲- دانشیار زبان‌شناسی دانشگاه اصفهان

مقدمه

هدف این تحقیق بررسی تأثیر واکه‌ها بر میزان نسبت بسته‌بودن موج چاکنایی همخوان‌های روان در زبان فارسی است. دو همخوان /l/ و /r/ از همخوان‌های رسا تلقی می‌شوند و حتی چامسکی و هله^۱ (۱۹۶۸) این دو همخوان را تنها همخوان‌هایی می‌دانند که دارای مشخصه‌ی [+واکه‌ای] هستند بدین معنی که دارای واگذاری همزمان یا آنی هستند و در تمام مرحله‌ی گیرش تولیدشان تارهای صوتی در حال ارتعاش هستند. ارتعاش تارهای صوتی، جریان هوا را به یکسری رشته‌های منظم از توالی تپ‌ها^۲ تبدیل می‌کند که به‌عنوان یک محرک فیزیکی و منبع گفتار واکدار عمل می‌کند. فرایند ایجاد محرک واکداری، /واسازی^۳ نامیده می‌شود (لیبرمن و بلومستین^۴، ۱۹۸۸؛ پولاکا^۵، ۲۰۰۵؛ لیور^۶، ۱۹۹۴؛ ۱۸۴؛ سپنتا، ۱۳۷۷: ۴۱). جریان هوای بازدم پس از آن در مجرای صوتی پالایش می‌شود و سپس از دهان خارج می‌شود. بنابراین بسامد موج چاکنایی حاصل از ارتعاش تارهای صوتی بسامد اصلی^۷ را تولید می‌کند و بسامد اصلی مبنای ویژگی‌های زبرزنجیری بسیار مهم تکیه، نواخت و آهنگ در زبان است.

دستگاه حنجره‌نگار الکترونیکی می‌تواند ارتعاشات بسیار ظریف تارهای صوتی را مستقیماً از روی گلو دریافت کند و اطلاعات به‌دست‌آمده برای تحلیل و ترکیب گفتار و علاوه بر آن برای مدل‌سازی رفتار حنجره‌ای مفید است.

جهت بررسی موج چاکنایی متغیرهای مختلفی اندازه‌گیری می‌شود که در این مقاله به متغیر نسبت بسته‌بودن^۸ موج چاکنایی و سایر ویژگی‌های همخوان روان /r/ در بافت‌های مختلف زبان فارسی می‌پردازیم درصدد پاسخگویی به چهار سؤال زیر هستیم:

۱- میزان بسته‌بودن دوره‌ی موج چاکنایی در جایگاه‌های واکی یعنی ابتدای واژه و بین دو واکه چگونه است؟

۲- واگردگی در جایگاه‌هایی مانند پایان واژه، بعد از همخوان‌های بیواک و واکدار و در میان واژه، قبل از همخوان‌های بیواک چه تأثیری بر میزان بسته‌بودن موج چاکنایی می‌گذارد؟

۳- آیا دستگاه حنجره‌نگار تولید سایش همراه با تولید همخوان /r/ بعد از واکه‌ها را تأیید می‌کند؟

۴- جنسیت چه تأثیری بر میزان بسته‌بودن موج چاکنایی دارد؟

-
1. Chomsky and Halle
 2. pulses
 3. phonation
 4. Lieberman And Blumstein
 5. Pulakka
 6. Laver
 7. fundamental frequency
 8. closed Quotient (OQ)

پیشینه موضوع تحقیق

در راستای مطالعه موج چاکنایی و مدل‌سازی آن در حوزه‌های مختلف مهندسی، تحقیقات بسیاری صورت گرفته است مانند یوشیوکا (۱۹۷۸) که موج چاکنایی را در پدیده‌ی واگرفتگی واکه و واگذاری /h/ بین واکه‌ای بررسی کرده است و نیز کارلسون (۱۹۹۲) که به تحلیل موج چاکنایی واکه‌های زبان انگلیسی در دو گروه مؤنث و مذکر پرداخته است. همچنین محققانی چون هوارد (۱۹۹۵)، واتکینز (۱۹۹۸)، ولفگانگ (۲۰۰۲)، واکر و مورفی (۲۰۰۲)، فورسین و پتاک (۱۹۹۹)، پلامپ (۱۹۹۷)، دیکانیو (۲۰۰۷)، متغیرهای توصیف موج چاکنایی را که عبارت‌اند از نسبت بسته‌بودن، نسبت باز بودن و نسبت کج شدگی را با ابزارهای مختلف مانند EGG، پالایش معکوس و عکس‌برداری با سرعت‌بالا و ... مورد ارزیابی و تحلیل قرار داده‌اند. پولاکا (۲۰۰۵)، واکر و مورفی (۲۰۰۴)، کوانگ و کیتینگ (۲۰۱۲) و آکو (۲۰۱۱) نیز به بررسی ابزارهای تحلیل موج چاکنایی که ذکر شد مانند EGG، پالایش معکوس و عکس‌برداری با سرعت‌بالا و معایب و محاسن این ابزارها پرداخته‌اند که در اینجا به علت تفاوت در ماهیت نوع بررسی از ذکر آن‌ها خودداری می‌شود. اما مهم‌ترین مطالعه در این زمینه که در حوزه این مقاله است مربوط به چیلدرز و همکاران^۱ (۱۹۹۰) می‌باشد که به مدل‌سازی رفتار حنجره پرداختند. آن‌ها با استفاده از دستگاه حنجره‌نگار الکترونیکی به مقایسه فیلم‌هایی که با سرعت‌بالا از حنجره افراد عادی و حنجره‌ی افراد بیمار با اختلال صوتی به دست آوردند پرداختند و سه متغیر ۱- لحظه باز بودن چاکنای ۲- لحظه بسته‌بودن چاکنای ۳- لحظه بیشترین حد باز بودن چاکنای را باهم مقایسه کردند و در نهایت نشان دادند که ویژگی‌های ارتعاشی تارهای صوتی توسط مشخصه‌های شکل موج EGG به‌خوبی منعکس می‌شود.

در زبان فارسی تنها تحقیقی که در مورد محاسبه ویژگی‌های موج چاکنایی آواهای زبان فارسی به دست آمده است، مقاله موسوی و علی‌نژاد (۱۳۹۴) می‌باشد که در تحقیق خود با عنوان «بررسی موج چاکنایی واکه‌های فارسی با استفاده از الکتروگلوٹوگرافی» به بررسی موج چاکنایی واکه‌های زبان فارسی پرداختند. محققان در مرحله اول، ویژگی‌های موج چاکنایی واکه‌های مختلف زبان فارسی را مقایسه کردند و در مرحله دوم به مقایسه موج چاکنایی گویشوران زن و مرد پرداختند. محققان برای مقایسه ویژگی‌های موج چاکنایی از نسبت بسته‌بودن استفاده کردند. داده‌های مورد بررسی شامل شش واکه زبان فارسی بود که با استفاده از دستگاه حنجره‌نگار و خارج از بافت آوایی ضبط شد. آن‌ها برای جمع‌آوری داده از چهار گویشور زن و مرد استفاده کردند و نهایتاً به این نتیجه رسیدند که میانگین نسبت تماس واکه‌های مختلف زبان فارسی با یکدیگر تفاوت معنادار دارد. این نتیجه پیرو رویکرد تعاملی مدل چشمه-پالایه در تولید گفتار است که بر مبنای آن، حوزه‌های مختلف تولید گفتار بر یکدیگر اثرگذارند. همچنین نتایج مقایسه موج چاکنایی گویشوران مرد و زن نشان داد که متغیر نسبت تماس موج چاکنایی مردان و زنان تفاوت معناداری دارد. به بیان دیگر، مردان و زنان علاوه بر بسامد پایه متفاوت، کیفیت واک متفاوتی را هم در گفتار تولیدی نشان می‌دهند.

1. Childers et. al

از تحقیقاتی که در مورد ویژگی‌های آکوستیکی /I/ نیز می‌توان نام برد صادقی (۱۳۹۰) است که در یک آزمایش تولیدی، الگوی تغییرات شدت انرژی، بر روی طیف بسامدی گونه‌های مختلف و رفتار واجی گونه لرزشی- لثوی /I/، را بررسی کرد. او در آزمایش خود با بررسی و مشاهده الگوی توزیع شدت انرژی بر روی بسامدها در هر جایگاه، موارد وقوع هر واجگونه را شناسایی و فراوانی آن را محاسبه کرد و به این نتیجه رسید که گونه‌های لرزشی- لثوی واکدار و ناسوده، گونه‌های اصلی /I/ در زبان فارسی هستند. این گونه‌ها در سطح وسیعی از بافت‌های واکه‌ای و همخوانی و همچنین جایگاه‌های نوایی مختلف تظاهر آوایی دارند. همچنین تناوب این گونه‌ها با یکدیگر آزاد و وابسته به گویشور است. علاوه بر این دو گونه، گونه‌های زنجی، لرزشی بیواک، سایشی واکدار و سایشی بیواک نیز در زبان فارسی تظاهر آوایی دارند ولی تولید آن‌ها تا حد زیادی وابسته به بافت آوایی و بافت نوایی گفتار است. این نتایج نشان می‌دهد، تغییرات واجگونه‌ای /I/ در زبان فارسی متأثر از عوامل مختلف، از جمله گویشور، بافت آوایی و بافت نوایی است.

ثمره (۱۳۸۶) گونه‌های مختلف همخوان روان /I/ را به صورت مبسوط مطرح کرده است که در این پژوهش توسط دستگاه حنجره‌نگار مورد بررسی آزمایشگاهی قرار می‌گیرند.

روش تحقیق

۱. ابزار بررسی ارتعاشات تارهای صوتی

بررسی ارتعاش تارهای صوتی در طول آواسازی چالش‌برانگیز است و نمی‌توان ارتعاش تارهای صوتی را مستقیماً با روش‌های غیرمداخله‌ای بررسی کرد چون حنجره در طول آواسازی به راحتی قابل مشاهده نیست. ولی چند ابزار غیرمستقیم و پیشرفته برای مطالعه عملکرد تارهای صوتی وجود دارد که بررسی فعالیت‌های حنجره‌ای را در طول واک‌سازی ممکن می‌کنند. حنجره‌نگار الکترونیکی (EGG)، یکی از دستگاه‌هایی است که به تحلیل صوت می‌پردازد. این دستگاه، یک روش غیرمداخله‌ای برای بررسی ارتعاش تارهای صوتی است که اولین بار توسط فابری^۱ (۱۹۴۰ و ۱۹۷۵) مطرح شد (کولتون و کُنچر^۲، ۱۹۹۰؛ بیکن^۳، ۱۹۹۲؛ هنریش و همکاران^۴، ۲۰۰۴؛ پولاکا، ۲۰۰۵) و چندین دهه است که برای اهداف کلینیکی و تحقیقاتی استفاده می‌شود. اساس این روش، اندازه‌گیری مقاومت داخل گردن گویشوران هست. زمانی که تارهای صوتی بسته می‌شوند، جریان الکتریکی می‌تواند از میان آن‌ها عبور کند. زمانی که تارها جدا از هم هستند، رخنه کردن هوا به داخل باعث باز شدن تارهای صوتی می‌شود، مقاومت در حنجره بالاتر است؛ بنابراین، تغییرات مقاومت در حنجره، بیانگر تغییرات سطح تماس بین تارهای صوتی است. دستگاه حنجره‌نگار دارای دو الکترود است که بر روی سطح پوست گردن بر دو طرف حنجره قرار می‌گیرند و برای اندازه‌گیری مقاومت بین دو الکترود، جریان

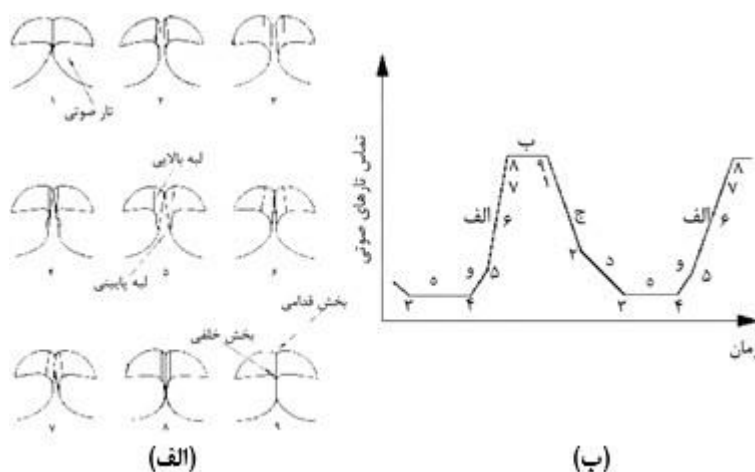
1. Faber
2. Colton and Conture
3. Baken
4. Henrich et al

متناوب با بسامد بالا از میان آن‌ها عبور می‌کند تا مقاومت بین الکترودها اندازه‌گیری شود و بدین‌وسیله، اطلاعاتی را در مورد مرحله بست^۱ و کل دوره ارتعاش تارهای صوتی ارائه می‌دهد. هر سیگنال EGG از دو بخش تشکیل شده است؛ یکی با فرکانس بالا که با ارتعاش تارهای صوتی مرتبط است (واک) و دیگری که با حرکت آرام حنجره ارتباط دارد. بسامد معمولاً در منطقه مگاهرتز است و جریان هم به چند میلی‌آمپر محدود شده تا برای فرد بی‌ضرر و نامحسوس باشد (بیکن، ۱۹۹۲). ولتاژ بین الکترودها معمولاً در حدود ۰/۵ ولت است (ماراسک^۲، ۱۹۹۷؛ فاریا، ۱۹۸۸).

در این پژوهش ضبط داده‌ها توسط دستگاه حنجره‌نگار الکترونیکی (EGG) و در اتاق عایق صوت آزمایشگاه انجام گرفته است.

۲. نحوه محاسبه دوره تناوب موج چاکنایی

روابط بین بخش‌های مختلف موج EGG و مراحل دوره چاکنایی توسط چیلدرز و کرشنامورثی (۱۹۸۵) به نقل از علی‌نژاد و حسینی بالام، (۱۳۹۱: ۲۸۲) بررسی شده است. در شکل ۱ تصویر الف رابطه بین وضعیت تارهای صوتی و در تصویر ب بخش‌های مختلف موج چاکنایی با حروف و اعداد مشخص شده‌اند.



شکل ۱: مراحل مختلف تشکیل موج چاکنایی

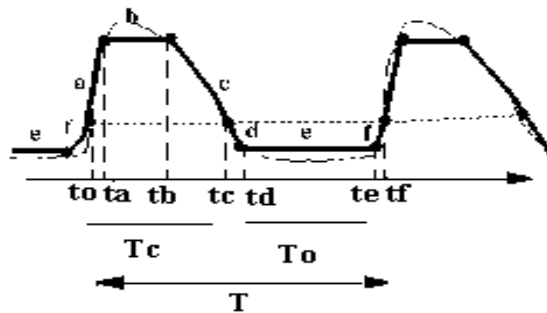
(بر اساس چیلدرز و کرشنامورثی، ۱۹۸۵: ۱۳۷ به نقل از علی‌نژاد و حسینی بالام، ۱۳۹۱: ۲۸۲)

هنگامی که تارهای صوتی باز هستند، هیچ تماسی بین آن‌ها وجود ندارد، مرحله «ه» و در نتیجه میزان فشار حداقل است. در این مرحله، پاگیری تارها بسیار زیاد است و حداکثر جریان هوا عبور می‌کند و در جریان هوا تغییر قابل ملاحظه‌ای ایجاد نمی‌شود. اگر تارهای صوتی سریع بسته شوند مراحل «الف» و «و» غیرقابل

1. closure
2. Marasek

تشخیص هستند و شیب مرحله بسته شدن تند است. در حالت عادی تغییر شیب بخش «و» از شیب بخش «الف» کمتر است. در طول مرحله «ب» تارهای صوتی در حال تماس هستند و جریان هوا قطع می‌شود و این مرحله مانند مرحله «ه» دارای حداقل تغییر است. پس از مرحله «ب»، نیروی ارتجاعی نسج تارهای صوتی کاهش یافته و تارهای صوتی از هم باز می‌شوند. در این حالت لب‌های پایینی تارهای صوتی از هم جدا می‌شوند، مرحله «ج»، در مرحله «د»، لب‌های بالایی به‌طور کامل از هم باز می‌شوند. در این حالت، چاکنای در بیشترین اندازه خود است.

به‌منظور توصیف موج صوتی، از سه متغیر نسبت باز بودن، نسبت بسته‌بودن و میزان کج شدگی استفاده می‌شود. این سه متغیر، نشان‌دهنده حجم جریان هوایی است که از چاکنای می‌گذرد.



شکل ۲: زمان بندی بخش‌های مختلف یک دوره‌ی چاکنایی

نسبت باز بودن^۱، OQ، زمانی که تارهای صوتی از یکدیگر جدا هستند و جریان هوا از میان چاکنای می‌گذرد (روزنبرگ^۲، ۱۹۷۱). همچنین، نشان‌دهنده درصد زمان باز بودن تارهای صوتی است و تغییر مقدار آن شکل طیف را تغییر می‌دهد. این نسبت، به محدودیت‌های فیزیولوژیک و نوع آواسازی مرتبط است. مقدار OQ برابر است با نسبت زمان باز بودن کامل تارهای صوتی، T_o ، به مدت زمان کل یک دوره، T ، که به‌صورت معادله (۱) نشان داده می‌شود (چیلدرز و کرشنامورثی، ۱۹۸۵: ۱۳۸ به نقل از علی‌نژاد و حسینی بالام، ۱۳۹۲: ۲۸۴):

$$OQ = 100 \frac{T_o}{T} \quad (1)$$

نسبت بسته‌بودن، CQ، زمانی است که تارهای صوتی در امتداد کشش کاملشان در تماس هستند؛ بنابراین فضای باز بودن چاکنای صفر است و هیچ جریان هوایی بین تارهای صوتی در طول این مرحله وجود ندارد (روزنبرگ، ۱۹۷۱). همچنین، درصدی از زمان در هر دوره است که در طول آن تارهای صوتی بسته

1. Open Quotient (OQ)
2. Rosenberg

هستند. نسبت بسته‌بودن، عدم تقارن دور موج چاکنایی را نشان می‌دهد و از معادله (۲) به‌دست می‌آید (چیلدرز و کرشنامورثی، ۱۹۸۵: ۱۳۸ به نقل از علی‌نژاد و حسینی بالام، ۱۳۹۲: ۲۸۴):

$$CQ = 100 \frac{Tc}{T} \quad (2)$$

نسبت کج شدگی^۱، چولگی یا SQ، مدت‌زمانی در هر دوره است که تارهای صوتی به‌طرف هم حرکت می‌کنند که در اینجا به جزئیات آن پرداخته نمی‌شود. لازم است ذکر شود که هر سه متغیر در تحقیقات مورد بررسی قرار نمی‌گیرد و در اکثر مطالعات، میزان بسته‌بودن محاسبه می‌شود. در این مقاله هم همین متغیر مبنای مطالعه قرار گرفته است.

همخوان‌های روان زبان فارسی

همخوان‌های ناسوده شامل دو دسته از آواهایی هستند که در تقسیم‌بندی سنتی به نام غلت و روان نامیده می‌شوند. از نظر آکوستیکی روان‌ها به‌سختی قابل‌تشخیص هستند و چون از نظر آوایی دارای تنوع بیشتری هستند، کمتر مطالعه شده‌اند. به‌طور کل، اصطلاح روان یک اصطلاح شنیداری است و به نحوه تولید ارتباطی ندارد. روان‌ها شامل هر آوای دهانی می‌شوند که گرفتگی در آن‌ها به‌اندازه‌ای است که مانع تلاطم یا ایجاد انسداد شود تا حدی که منجر به تولید همخوان شود (علی‌نژاد و حسینی بالام، ۱۳۹۱: ۱۵۱). به‌عبارت‌دیگر، علی‌رغم وجود احتمالی بست در دهان، جریان هوا به هیچ مانعی برخورد نکرده و بدون اشکال از همان مسیر دهان به خارج ادامه می‌یابد.

روش تحقیق و نحوه جمع‌آوری داده‌ها

ویژگی همخوان‌های روان از جمله همخوان /r/ این است که برخلاف همخوان‌های گرفته‌ی زبان فارسی که واگذاری بافتی دارند؛ این همخوان‌ها دارای واگذاری ذاتی (همزمان) هستند و دلیل انتخاب این همخوان نیز همین مسئله است. بدین ترتیب در این مقاله، موج چاکنایی واجگونه‌های همخوان روان /r/ که عبارت‌اند از: [r]- (واکدار) در دو بافت آغاز گفتار مؤکد، بعد از سکوت و قبل از همخوان‌های واکدار ۲- [r] (واکرفته) در دو بافت پایان واژه بعد از واکه‌های پسین و در میان واژه قبل از همخوان‌های بیواک ۳- [r] (زنشی) در بافت بین دو واکه ۴- [r] (واکه‌گونه) در چهار بافت آغاز هجا، بعد از سکوت و بعد از واکه /i/ و در میان واژه قبل و بعد از همخوان و قبل از /o/ و /u/ ۵- [r] (سایشی) در دو بافت پایان واژه بعد از واکه‌های پیشین و بعد از همخوان‌ها (ثمره، ۱۳۸۶: ۷۰-۶۹) مورد بررسی قرار گرفته است.

بدین منظور، صدای گویشوران با استفاده از دستگاه حنجره‌نگار ضبط و طیف واژه‌ها توسط نرم‌افزار Speech Studio یا کارگاه گفتار به‌دست آمد و سپس امواج خام به‌دست‌آمده وارد نرم‌افزار Praat شدند تا

1. Speed Quotient (SQ)

واجگونه‌های همخوان /r/ به‌دست آید. نهایتاً با نرم‌افزار EGGWorks مرحله‌ی بسته‌بودن هر یک از دوره‌ها اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد، تعداد دوره‌های چاکنایی هر آوای به‌دست‌آمده به سه دسته تقسیم شد و مقادیر آن به برنامه Excel منتقل شد؛ یک‌سوم اول (با نماد اختصاری fir) و یک‌سوم دوم (با نماد اختصاری m) و یک‌سوم آخر (با نماد اختصاری fi). پیش‌فرض تحقیق این بود که یک‌سوم دوم/میانی سیکل‌ها مرتبط با ویژگی اصلی /r/ هستند و تحت تأثیر سکوت آغازین یا واکه بعد نیستند. به همین دلیل یک‌سوم اول و یک‌سوم آخر با یک‌سوم میانی مقایسه شدند تا مشخص شود که آیا تفاوت نسبت بسته‌بودن موج چاکنایی در مراحل مختلف باهم معنادار است یا خیر.

کلمات جمع‌آوری‌شده در جمله حامل «منشأ ... است» قرار گرفتند و توسط ۱۰ گویشور زبان (۵ زن و ۵ مرد در محدوده سنی ۲۰ تا ۲۵ سال و دانشجوی) خوانده شدند. دلیل در نظر گرفتن این جمله نیز این بود که کلمات «منشأ» و «است» به ترتیب به همخوان /r/ (همزه) ختم و با همزه آغاز می‌شود و این همخوان کمترین تأثیر را بر ابتدا و انتهای کلمات دارد. داده‌ها نهایتاً با سه روش زیر تحلیل شدند:

برای بررسی اینکه آیا بین یک‌سوم اول، یک‌سوم میانی و یک‌سوم آخر نسبت بسته‌بودن موج‌های چاکنایی همخوان روان /r/ در کلمات در گروه زنان و گروه مردان به‌صورت جدا تفاوت معناداری وجود دارد، از آزمون آنالیز واریانس یک‌راهه استفاده شد. در صورتی که سطح معناداری آزمون F کمتر از ۰/۰۵ باشد از آزمون تعقیبی شفه استفاده شد و نیز برای بررسی وجود تفاوت بین یک‌سوم اول، میانی و آخر نسبت بسته‌بودن موج‌های چاکنایی همخوان روان /r/، اینکه آیا تفاوت معناداری بین زنان و مردان در مقایسه با یکدیگر وجود دارد یا نه از آزمون لوین و آزمون t- مستقل استفاده شد. اگر سطح معنی‌داری آزمون لوین بیش از ۰/۰۵ باشد؛ از آزمون t- مستقل برای حالت همگونی واریانس‌ها و اگر کمتر از ۰/۰۵ باشد نیز از آزمون t- مستقل برای حالت عدم همگونی واریانس‌ها استفاده شد. چون سطح معناداری برای تمام متغیرها بیشتر از ۰/۰۵ محاسبه‌شده است، بنابراین از آزمون t- مستقل برای حالت همگونی واریانس‌ها استفاده می‌شود.

همچنین برای مقایسه یک‌سوم اول، یک‌سوم میانی و یک‌سوم آخر نسبت بسته‌بودن موج‌های چاکنایی همخوان روان /r/ در گروه زنان جدا با یکدیگر و در گروه مردان نیز جدا با یکدیگر، مجدداً از آزمون آنالیز واریانس یک‌راهه استفاده شد و در صورتی که سطح معناداری آزمون F کمتر از ۰/۰۵ باشد از آزمون تعقیبی شفه استفاده می‌شود.

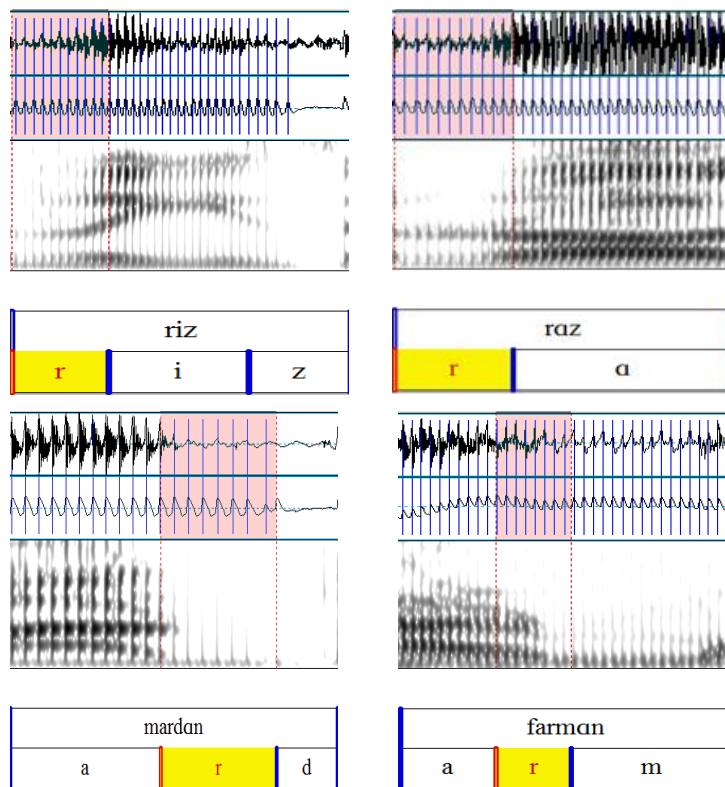
تحلیل داده‌ها

در این بخش، نسبت بسته‌بودن و شکل موج چاکنایی استخراج‌شده از همخوان روان /r/ در بافت‌های آوایی مختلف در قالب طیف‌نگاشت و نمودار موج صوتی و جداول تحلیل آماری ارائه‌شده است. لازم به ذکر است، در مواردی که به جهت بررسی واجگونه‌های همخوان روان /r/ کلمه‌ای در مجموعه کلمات زبان فارسی وجود نداشت، کلماتی برای بررسی رفتار اهل زبان ساخته شد و نیز طیف نگاشت‌های ارائه‌شده برای هر

مجموعه داده، همان طیف‌های نرم‌افزار Praat هستند و نمودارهای موج چاکنایی نیز، از نرم‌افزار Speech Studio (کارگاه گفتار) استخراج شده‌اند که شکل موج چاکنایی را به صورت دقیق به دست می‌دهند. در مورد جداول تحلیل آماری نیز به دلیل حجم بالای داده‌ها، صرفاً به ارائه جدول آماری نسبت بسته‌بودن موج چاکنایی و اجگونه مورد نظر در کلماتی که به عنوان نمونه در هر بافت آوایی ارائه شده‌اند بسنده شده است ولی نتیجه‌ی نهایی بر اساس طیف‌نگاشت، نمودار موج چاکنایی و تحلیل آماری تمامی کلمات هر بافت انجام شده است.

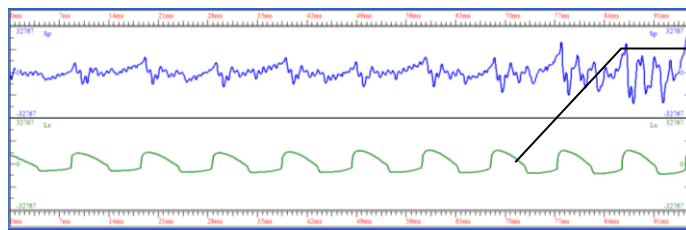
۱. گونه [r] واکدار

این واج‌گونه از همخوان روان /r/ در بافت آغاز گفتار مؤکد، بعد از سکوت در قالب ۶ جفت کمینه‌ی [raz]، [rez]، [riz]، [raz] و [ruz] و در بافت قبل از همخوان‌های واکدار در قالب ۴ واژه‌ی [farman]، [mardan]، [darban] و [morvarid] بررسی شده است که به عنوان نمونه طیف‌نگاشت /r/ در کلمات [raz]، [riz] و [farman] و [mardan] در شکل (۳) و نمودار موج صوتی این واج‌گونه در شکل (۴) و سپس جداول آماری ارائه شده است.

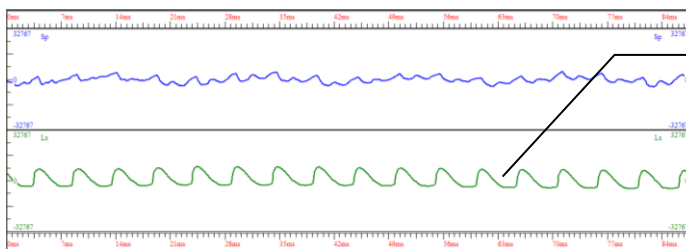


شکل ۳: طیف‌نگاشت واژه‌های [riz]، [raz] و [farman] و [mardan]

همخوان /r/ جزء همخوان‌های رسا و دارای واگذاری همزمان است و انتظار می‌رود که به‌خصوص در ابتدای واژه واگذار باشد. با بررسی طیف آکوستیکی و نمودار موج چاکنایی این همخوان در گروه زنان و در گروه مردان، موج چاکنایی این همخوان از ابتدا تا انتهای تولید صوت، مشاهده می‌شود. نمودار موج چاکنایی /r/ در بافت‌های آغاز گفتار و قبل از همخوان‌های واگذار در شکل (۴) مشاهده می‌شود:



واگذاری کامل /r/ در آغاز گفتار بعد از سکوت



واگذاری کامل /r/، قبل از همخوان‌های واگذار

شکل ۴: نمودار موج چاکنایی /r/ در بافت‌های آغاز گفتار و قبل از همخوان‌های واگذار

جدول (۱) الف و ب، نتایج تحلیل آماری مقایسه‌ی یک‌سوم اول، دوم و سوم نسبت بسته‌بودن موج‌های چاکنایی واجگونه /r/ در واژه‌های [riz]، [raz] و [farman] و [mardan] را نشان می‌دهد. بدین صورت که در ستون افقی این مقایسه در گروه زنان و گروه مردان به‌صورت جداگانه انجام شده است و در ستون عمودی مقایسه بین گروه زنان و گروه مردان می‌باشد.

جدول ۱: الف - نتایج آماری نسبت بسته‌بودن موج چاکنایی /r/ در واژه‌های [riz]، [raz]

کلمه	fir r		m r		fi r		آنالیز واریانس یک‌راهه (برابری میانگین‌ها)
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	
riz	زن	۰/۶۶	۰/۱۵	۰/۶۸	۰/۱۵	۰/۶۶	۱/۳۸۵
	مرد	۰/۷۴	۰/۱۶	۰/۷۵	۰/۱۶	۰/۷۴	۳/۲۶۱
riz	آماره t	-۳/۸۶۷	-۳/۵۳۸	-۷/۰۷۲			
	سطح معناداری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰			
raz	زن	۰/۶۹	۰/۱۷	۰/۶۸	۰/۲۰	۰/۶۱	۱۴/۷۷
	مرد	۰/۷۶	۰/۱۷	۰/۷۸	۰/۱۹	۰/۷۶	۸/۹۲۴
raz	آماره t	-۱۳/۶۹۵	-۴/۲۰۲	-۶/۳۳۵			
	سطح معناداری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰			

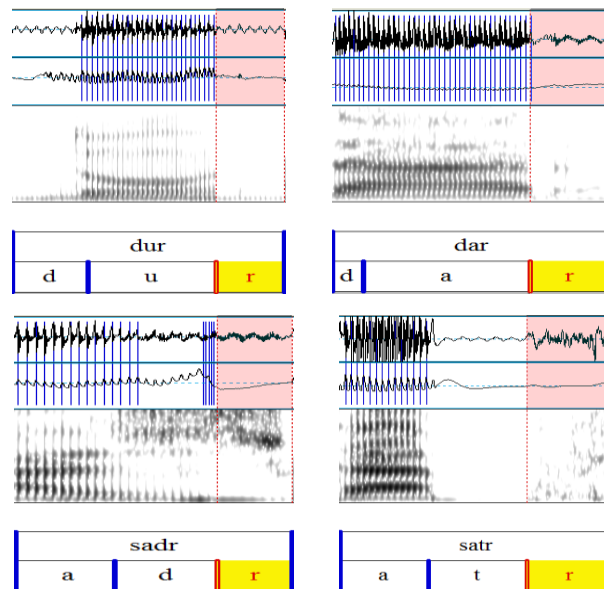
جدول ۱: ب - نتایج آماری نسبت بسته‌بودن موج چاکنایی /r/ در واژه‌های [farman] و [darban]

کلمه	fir r		m r		fi r		آنالیز واریانس یک‌راهه (برابری میانگین‌ها)
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	
farman	زن	۰/۶۳	۰/۱۷	۰/۶۰	۰/۲۱	۰/۵۷	۱/۶۴۷
	مرد	۰/۷۸	۰/۱۰	۰/۷۹	۰/۲۵	۰/۷۳	۸/۴۳۹
farman	آماره t	-۹/۲۹۱	-۴/۲۶۵	-۳/۸۴۲			
	سطح معناداری	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰			
darban	زن	۰/۷۱	۰/۱۹	۰/۷۱	۰/۲۰	۰/۶۹	۰/۲۵۶
	مرد	۰/۸۲	۰/۲۱	۰/۸۵	۰/۱۸	۰/۸۴	۰/۳۳۸
darban	آماره t	-۲/۸۴۲	-۳/۵۸۸	-۶/۴۱۷			
	سطح معناداری	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰			

نتایج تحلیل آماری نسبت بسته‌بودن موج چاکنایی همخوان روان /r/ در آغاز گفتار بعد از سکوت و قبل از همخوان‌های واگذار به‌طور کل نشان داد که در بافت آغاز گفتار بعد از سکوت یک سوم‌های آغازین تفاوت معناداری با یک سوم‌های میانی داشتند و در بافت قبل از همخوان‌های واگذار، یک سوم‌های پایانی تفاوت معناداری با یک سوم‌های میانی داشتند و اکثریت داده‌های آماری نشان می‌دهد که نسبت بسته‌بودن موج چاکنایی /r/ در بافت واگذار کمتر از یک سوم میانی هستند و کاهش یافته‌اند.

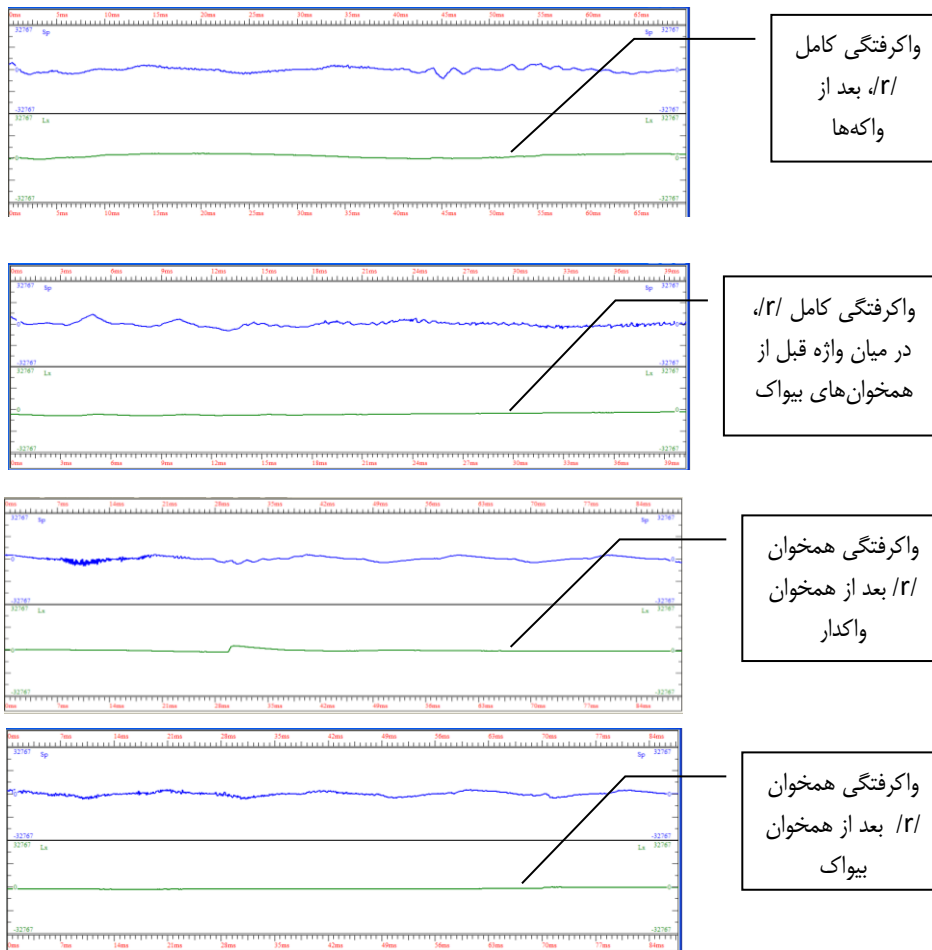
۲. گونه [r] واگرفته

محل وقوع گونه واگرفته در پایان واژه بعد از واژه‌ها و در میان واژه قبل از همخوان‌های بیواک و در میان واژه بعد از همخوان‌های واگذار و بیواک مشاهده می‌شود (نمره، ۱۳۸۶). بنابراین انتظار می‌رود همخوان /r/ در بافت‌های ذکرشده واگرفته باشد این واگونه از همخوان روان /r/ در بافت پایان واژه بعد از واژه‌ها در قالب ۶ جفت کمینه [dar]، [dir]، [der]، [dər]، [d̥ər]، [d̥r] و [dur] و در میان واژه قبل از همخوان‌های بیواک در قالب دو واژه‌ی [torc] و [pors] و در میان واژه بعد از همخوان‌های واگذار و بیواک در قالب ۸ واژه [sat̪]، [sad̪]، [sap̪]، [sab̪]، [mac̪]، [maj̪]، [ʔas̪] و [ʔaʒ̪] بررسی شده است که به‌عنوان نمونه، جداول تحلیل آماری، طیف‌نگاشت و نمودار موج صوتی [r] در جفت کمینه‌های [dar] و [dur] و واژه‌های [sad̪] و [sat̪] ارائه شده است.



شکل ۵: طیف‌نگاشت جفت کمینه‌های [dar] و [dur] و واژه‌های [sad̪] و [sat̪]

نمودار موج چاکنایی [ɪ] در پایان واژه بعد از واکه‌ها و در میان واژه قبل از همخوان‌های بیواک و در میان واژه بعد از همخوان‌های واکدار و بیواک در شکل (۶) آمده است:

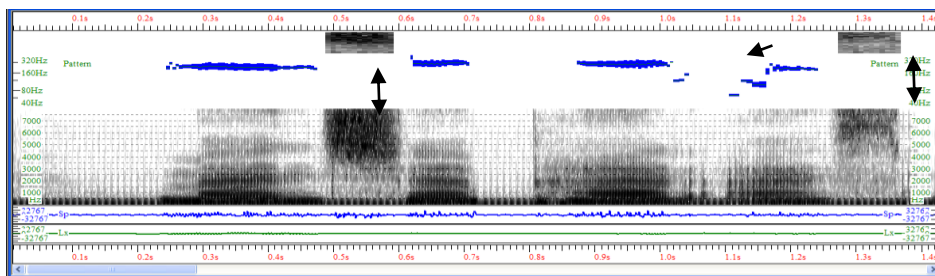


شکل ۶: موج چاکنایی جفت کمینه‌های [dar] و [dur] و واژه‌های [sadɪ] و [satɪ]

همان‌گونه که شکل (۶) نشان می‌دهد موج چاکنایی در فرایند تولید این آوا مشاهده نشد. با بررسی طیف آکوستیکی و نمودار موج چاکنایی این همخوان نیز در گروه زنان و در گروه مردان، موج چاکنایی این همخوان از ابتدا تا انتهای تولید صوت، مشاهده نشد.

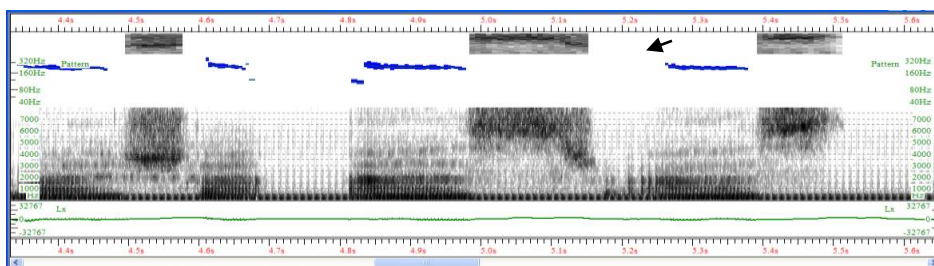
نکته قابل‌ذکر این است که ثمره (۱۳۸۶: ۶۹)، وقوع این واج‌گونه را فقط بعد از واکه‌های پسین می‌داند. محقق با بررسی و مقایسه همخوان /ɪ/ بعد از واکه‌های پیشین نیز در تمامی گویشوران مذکر و مؤنث

مشاهده کرد که واگرفتگی بعد از واکه‌های پیشین نیز رخ داده است. همچنین ثمره (۱۳۸۶: ۶۹) تولید همخوان /r/ را در بافت پایان واژه و بعد از واکه‌های پیشین همراه با سایش می‌داند که محقق با بررسی طیف این همخوان در نرم‌افزار Speech Studio هیچ سایشی را در فرایند تولید این همخوان در هر دو گروه زنان و مردان مشاهده نکرد. سایشی بودن در این نرم‌افزار به صورت مستطیل سیاه‌رنگ در بالای آوا نشان داده می‌شود؛ به عنوان نمونه، طیف‌نگاشت واجگونه [ɹ] در مجاورت واکه پیشین [a] در کلمه [par] در شکل (۷) نشان داده شده است که عدم وجود سایش با علامت پیکان در بالای آن مشخص شده است و سایشی بودن همخوان /r/ در کلمه [منشأ] و همخوان /s/ در کلمه [است] هم با علامت پیکان دو سر مشخص شده است.



شکل ۷: طیف‌نگاشت واجگونه [ɹ] در مجاورت واکه پیشین [a] در کلمه [par]

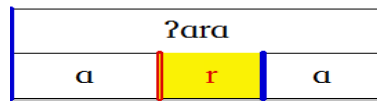
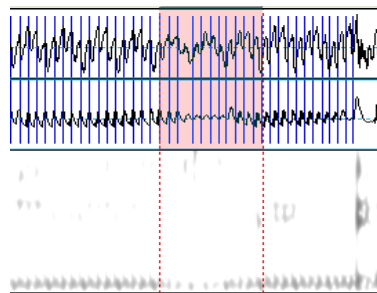
ثمره (۱۳۸۶) تولید همخوان /r/ در میان واژه و بعد از همخوان‌های واکنار و بیواک را همراه با سایش می‌داند که نرم‌افزار Speech Studio این مسئله را تأیید می‌کند. همان‌طور که در شکل (۸) و در طیف مربوط به واژه [عصر] نشان داده شده است.



شکل ۸: طیف مربوط به واژه‌ی [asɹ]. سایش [ɹ] با علامت پیکان در آن‌ها مشخص شده است.

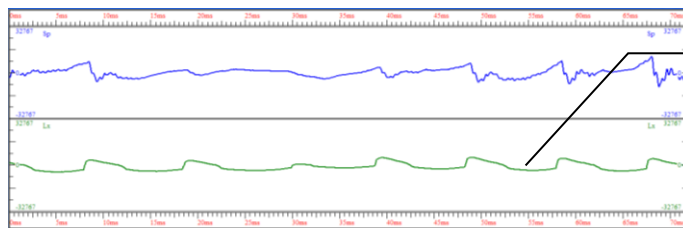
۳. گونه [r] (زنشی)

محل وقوع گونه زنشی بین دو واکه است. برای تولید یک همخوان زنشی، عبور هوا با یک بازو بسته شدن، با یک برخورد نوک زبان به لثه بالا انجام می‌شود (ثمره، ۱۳۸۶: ۶۸). این واجگونه از همخوان روان /r/ در بافت بین دو واکه در قالب ۶ واژه [cara]، [ʔara]، [tere]، [toro]، [ĩri] و [furu] بررسی شده است که به‌عنوان نمونه، طیف‌نگاشت واژه [ʔara] در شکل (۹)، نمودار موج صوتی [r] در شکل (۱۰) و سپس جدول تحلیل آماری این واجگونه ارائه شده است.



شکل ۹: طیف‌نگاشت واژه [ʔara]

همخوان /r/ در این داده‌ها در میان دو واکه قرار دارد و انتظار می‌رود که زنشی باشد. شکل (۱۰) نمودار موج چاکنایی [r] بین دو واکه را در کلمه [آرا] نشان می‌دهد:



شکل ۱۰: نمودار موج چاکنایی [r] بین دو واکه در واژه [ʔara]

جدول (۲)، نتایج تحلیل آماری مقایسه یک‌سوم اول، دوم و سوم نسبت بسته‌بودن موج‌های چاکنایی واجگونه [r] در واژه‌ی [ʔara] بدین‌صورت که در ستون افقی این مقایسه در گروه زنان و گروه مردان به‌صورت جداگانه انجام شده است و در ستون عمودی مقایسه بین گروه زنان و گروه مردان می‌باشد.

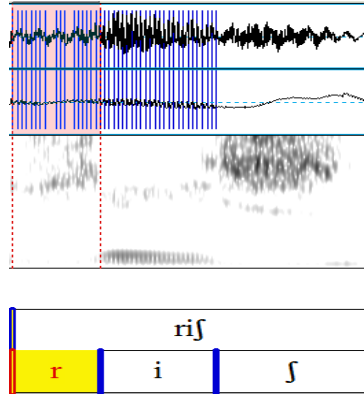
جدول ۲: تحلیل آماری نسبت بسته‌بودن موج چاکنایی [r] در واژه [ʔara]

آنالیز واریانس یک‌راهه (برابری میانگین‌ها)		r fi		r m		r fir		کلمه
		انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	
سطح معناداری	آماره F							
	۰/۰۵۹	۰/۱۲	۰/۷۶	۰/۱۶	۰/۷۷	۰/۱۵	۰/۷۶	زن
	۰/۰۰۴	۰/۱۴	۰/۷۷	۰/۱۸	۰/۸۵	۰/۲۴	۰/۷۵	مرد
		۰/۲۶۲		-۲/۸۷۴		۰/۷۲۸		آماره t
		۰/۰۰۴		۰/۰۰۵		*۰/۴۶۸		سطح معناداری

نتایج تحلیل آماری نسبت بسته‌بودن موج چاکنایی همخوان روان /r/ در بافت بین دو واکه به‌طور کل این نتیجه را ارائه داد که یک سوم‌های آغازین و پایانی تفاوت معناداری با یک سوم‌های میانی داشته‌اند و در اکثریت داده‌های آماری، یک سوم‌های آغازین و پایانی نسبت بسته‌بودن موج چاکنایی /r/ کمتر از یک سوم میانی هستند و کاهش‌یافته‌اند. بدین معنا که، در فرایند تولید /r/ زنشی در گروه زنان و در گروه مردان مدت‌زمان بسته‌بودن تارهای صوتی کمتر از مدت‌زمان باز بودن تارهای صوتی است، به‌عبارتی دیگر این‌گونه نفسی‌تر تلفظ می‌شود.

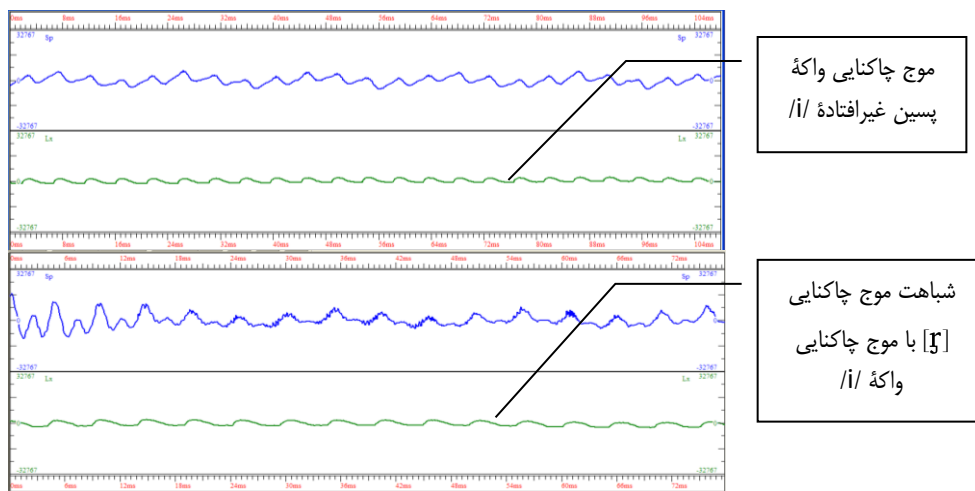
۴. گونه [r] واکه گونه

تولید همخوان روان /r/ ممکن است به گونه تولید واکه‌ای صورت پذیرد، بدین معنی که نوک زبان در فاصله‌ای از لثه بالا قرار گیرد که هوا بتواند به آزادی و بدون سایش عبور نماید؛ این‌گونه از واجگونه /r/ را واکه گونه می‌نامیم (ثمره، ۱۳۸۶: ۶۹). همخوان /r/ در بافت آغاز هجا، بعد از سکوت، در میان واژه بعد از واکه /i/ در میان واژه قبل و بعد از همخوان و بعد از واکه‌های /o/ و /u/ قرار دارد و انتظار می‌رود که واکه گونه باشد. این واجگونه از همخوان روان /r/ در بافت آغاز هجا، بعد از سکوت در قالب ۳ واژه [ram]، [rox] و [ri]، در میان واژه بعد از واکه /i/ در قالب ۳ واژه [birun]، [xire] و [zirān]، در میان واژه قبل و بعد از همخوان در قالب ۵ واژه [فطرت]، [مصرف]، [عبرت]، [اجرا] و [جرز] و قبل از واکه‌های /o/ و /u/ در قالب دو واژه [r^wud] و [r^wod] بررسی شده است که به‌عنوان نمونه، طیف‌نگاشت، نمودار موج صوتی و جداول تحلیل آماری واژه‌ی [ri] ارائه شده است.



شکل ۱۱: طیف‌نگاشت واژه‌ی [riʃ]

نمودار موج چاکنایی [ɹ̥] واکه گونه در شکل (۱۲) نشان داده شده است:



شکل ۱۲: موج چاکنایی واکه پسین غیرافتاده /i/ و موج چاکنایی [ɹ̥]

همان‌گونه که شکل بالا نشان می‌دهد نمودار موج چاکنایی این همخوان در گروه زنان و در گروه مردان به موج چاکنایی واکه‌ها شباهت دارد.

جدول (۳)، نتایج تحلیل آماری مقایسه‌ی یک‌سوم اول، دوم و سوم نسبت بسته‌بودن موج‌های چاکنایی واجگونه [ɹ̥] در واژه‌ی [ɹ̥iʃ] بدین صورت که در ستون افقی این مقایسه در گروه زنان و گروه مردان به صورت جداگانه انجام شده است و در ستون عمودی مقایسه بین گروه زنان و گروه مردان می‌باشد.

جدول ۳: تحلیل آماری نسبت بسته‌بودن موج چاکنایی [ʔ] در واژه‌ی [ʔiʃ]

آنالیز واریانس یک‌راهه (برابری میانگین‌ها)		r fi		r m		r fir		کلمه
سطح معناداری	آماره F	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	
*۰/۵۵۶	۰/۵۸۸	۰/۱۶	۰/۶۸	۰/۱۳	۰/۶۹	۰/۱۴	۰/۷۰	زن
۰/۰۰۱	۷/۶۵۲	۰/۱۸	۰/۷۵	۰/۲۱	۰/۷۸	۰/۱۲	۰/۸۳	مرد
		-۳/۶۰۱		-۴/۶۲۵		-۸/۴۴۶		آماره t
		۰/۰۰۲		۰/۰۰۰		۰/۰۰۰		سطح معناداری

نسبت بسته‌بودن موج چاکنایی همخوان روان /r/ در بافت آغاز هجا، بعد از سکوت، در میان واژه بعد از واکه /i/، در میان واژه قبل و بعد از همخوان کاهش پیدا می‌کند اما واکه‌های پسین غیر افتاده /u/ و /o/ باعث افزایش نسبت بسته‌بودن موج چاکنایی /r/ می‌شوند بدین معنا که در مدت‌زمان تولید همخوان /r/ در بافت آغاز هجا، بعد از سکوت، در میان واژه بعد از واکه /i/، در میان واژه قبل و بعد از همخوان مدت‌زمان بسته‌بودن تارهای صوتی کمتر از مدت‌زمان باز بودن تارهای صوتی است اما در تولید /r/ قبل از واکه‌های پسین غیر افتاده /u/ و /o/ مدت‌زمان بسته‌بودن تارهای صوتی بیشتر از مدت‌زمان باز بودن تارهای صوتی است.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نسبت بسته‌بودن همخوان روان /r/ در بافت آغاز واژه، بین دو واکه، قبل و بعد از همخوان‌های واکدار کاهش می‌یابد. همخوان روان /r/ در بافت بین دو واکه، به‌صورت زنجری تولید می‌شود در مقایسه با /r/ لرزشی که در آغاز و پایان واژه و قبل از همخوان‌های واکدار تولید می‌شود. همچنین، همخوان روان /r/ در پایان واژه، بعد از همخوان‌های بیواک و واکدار و در میان واژه، قبل از همخوان‌های بیواک و در پایان واژه، بعد از واکه‌ها کاملاً واکرفته می‌شود. نکته قابل‌ذکر این است که فرایند تولید همخوان /r/ در پایان واژه و بعد از همخوان‌های واکدار و بیواک با سایش همراه است. واکه‌ی پسین /i/ باعث کاهش نسبت بسته‌بودن موج چاکنایی می‌شوند اما واکه‌های پسین غیر افتاده /u/ و /o/ باعث افزایش نسبت بسته‌بودن موج چاکنایی /r/ می‌شوند. ثمره (۱۳۸۶) فرایند تولید همخوان /r/ را بعد از واکه‌های پیشین همراه با سایش می‌داند اما در این تحقیق با استفاده از دستگاه حنجره‌نگار، هیچ سایشی در فرایند تولید این همخوان مشاهده نشد.

منابع

- سپنتا، ساسان (۱۳۷۷)، *آواشناسی فیزیکی زبان فارسی*؛ اصفهان: نشر گل‌ها.
- صادقی، وحید (۱۳۸۹)، «آواشناسی و واج‌شناسی همخوان‌های چاکنایی»، پژوهش‌های زبان‌شناسی، بهار و تابستان، شماره دوم: ۹۴-۲۶.
- صادقی، وحید (۱۳۹۰)، «تنوع واجگونه‌ای /r/ در زبان فارسی: مطالعه آزمایشگاهی»، مجله انجمن زبان‌شناسی ایران، پائیز و زمستان، شماره دوم: ۲۳-۱.
- علی‌نژاد، بتول؛ حسینی بالام، فهیمه (۱۳۹۱)، *مبانی آواشناسی آکوستیکی*؛ چاپ اول، اصفهان: دانشگاه اصفهان.
- موسوی، ندا؛ علی‌نژاد، بتول (۱۳۹۴)، «بررسی موج چاکنایی واکه‌های فارسی با استفاده از الکتروگلوٹوگرافی»: پژوهش‌های زبان‌شناسی، بهار و تابستان، سال ۶، شماره ۱: ۸۰-۶۱.
- Baken, R. J. (1992), «Electroglottography», *Journal of Voice*, vol. 6, no. 2, pp. 98-110.
- Childers, DG. Hicks, DM. Moore GP. Eskenazi L. Lalwani AL. (1990), «Electroglottography and vocal fold physiology», *CRC Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 12, 131-161.
- Chomsky, N. and Halle, M (1968). «The sound pattern of English». Harper and Row, New York.
- Colton, R. H. and Conture, E. G. (1990), «Problems and pitfalls of electroglottography», *Journal of Voice*, vol. 4, no. 1, pp. 10-24.
- Faria, A. (1989), «Estimation of glottal source parameters from diverse signals». University of Berkeley.
- Henrich, N., d'Alessandro, C., Doval, B. & Castellengo, M. (2004), «On the use of the derivative of electroglottographic signals for characterization of nonpathological phonation», *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 115, no. 3, pp. 1321-1332.
- Laver, J. (1994), «Principles of phonetics», Cambridge: Cambridge University Press
- Lieberman, Ph. And Blumstein. (1998), *Speech physiology, speech perception, and acoustic phonetics*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Marasek, K. (1997), «EGG & voice quality», web page. Referenced 20 December 2004.
- Pulakka, H. (2005), «Analysis of Human voice production using Inverse filtering, High-Speed Imaging, And Electroglottography», Helsinki University of Technology. Department of Computer Science and Engineering.
- Rosenberg, A. E. (1971), «Effect of glottal pulse shape on the quality of natural vowels», *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 49, no. 2, 583-590.