



## بررسی صوتی میزان قوت همخوان‌های سایشی فارسی در بافت‌های آوایی و نوایی مختلف

وحید صادقی<sup>\*۱</sup>

سمیه اسلامی<sup>۲</sup>

### چکیده

این مقاله در چارچوب واجشناسی آزمایشگاهی به بررسی میزان قوت همخوان‌های سایشی در گفتار پیوسته فارسی می‌پردازد. داده‌ها به شیوه‌ای طراحی شدند که همخوان‌های سایشی در سه جایگاه آغازی، میانی (بین دو واکه) و پایانی کلمه، دو بافت آوایی واکدار و بیواک و دو موضع نوایی تکیه‌بر و بی‌تکیه قرار بگیرند. مقادیر دیرش همخوان‌های سایشی در حوزه زمان و دامنه انرژی فرکانس‌های پایین (۰-۱۰۰۰ هرتز) و فرکانس‌های میانی و بالا (بالا تر از ۱۸۰۰ هرتز) در حوزه شدت انرژی بر روی داده‌های هدف اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که الگوی توزیع مقادیر دیرش و دامنه انرژی فرکانس‌های میانی و بالای همخوان‌های سایشی به صورت تابعی از بافت آوایی و موضع نوایی آنها تغییر می‌کند. سایشی‌ها در بافت آوایی واکدار و موضع بی‌تکیه دیرش و دامنه انرژی کمتر و بالعکس در بافت بیواک و موضع تکیه‌بر دیرش و دامنه انرژی بیشتری دارند. این نتایج همچنین نشان داد درصد واکداری همخوان‌های سایشی در بافت واکدار از بافت بیواک به طور قابل توجهی بیشتر است. به‌علاوه، شدت واکداری (دامنه انرژی فرکانس‌های پایین) سایشی‌ها در بافت واکدار نسبت به بافت بیواک بیشتر است. این نتایج با تأیید یافته‌های به‌دست آمده از زبان‌های دیگر نشان می‌دهد که سایشی‌ها در موضع تکیه‌بر و بافت آوایی بیواک و همچنین جایگاه‌های آغازی و پایانی کلمه، میزان قوت خود را حفظ می‌کنند ولی در موضع بی‌تکیه، بافت واکدار و جایگاه بین‌واکه‌ای از میزان قوت آنها به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاسته می‌شود.

**کلیدواژه‌ها:** همخوان‌های سایشی، میزان قوت، موضع تکیه، بافت آوایی، شدت واکداری

\*۱ | Vsadeghi@hum.ikiu.ac.ir

۱- دانشیار دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (نویسنده مسؤل)

۲ | samaeslami86@yahoo.com

۲- کارشناس ارشد زبان‌شناسی همگانی دانشگاه بین‌المللی

امام خمینی

## ۱- مقدمه

پژوهش حاضر در چارچوب واجشناسی آزمایشگاهی به بررسی میزان قوت همخوان‌های سایشی واکدار و بیواک فارسی در بافت‌های آوایی و نوایی مختلف می‌پردازد. انگیزه اصلی انجام این پژوهش پاسخگوئی به این سؤال است که تا چه اندازه میزان قوت<sup>۱</sup> همخوان‌های سایشی فارسی به صورت تابعی از سه عامل تکیه، بافت آوایی و جایگاه نوایی (در سطح هجا) تغییر می‌کند؟ تحلیل‌های صوتی در این پژوهش در دو حوزه زمان و شدت انرژی انجام خواهد شد. مطابق با پیشینه مطالعات آوایی فرض می‌کنیم که سه پارامتر دیرش، دامنه انرژی فرکانس‌های پایین (۰-۱۰۰۰ هرتز) و دامنه انرژی فرکانس‌های میانی و بالا (بالا تر از ۱۸۰۰ هرتز) شاخصه‌های صوتی مناسبی برای اندازه‌گیری میزان قوت همخوان‌های سایشی هستند. مقاله در چند بخش تنظیم شده است. ابتدا ویژگی‌های صوتی همخوان‌های سایشی را بررسی می‌کنیم. سپس، به بررسی پیشینه مطالعات صوتی درباره همخوان‌های سایشی در زبان فارسی و زبان‌های دیگر خواهیم پرداخت. بعد از آن، روش‌شناسی پژوهش شامل داده‌ها، شرکت‌کنندگان و شیوه اندازه‌گیری متغیرهای آوایی تبیین می‌شود. در ادامه نتایج حاصل از تحلیل آوایی داده‌ها، گزارش و با توجه به نتایج به دست آمده درباره میزان قوت همخوان‌های سایشی فارسی در بافت‌های آوایی و نوایی مختلف بحث می‌شود.

## ۲- صوت‌شناسی همخوان‌های سایشی

در تولید همخوان‌های سایشی، میزان گرفتگی حفره‌های بازخوانی دستگاه گفتار که در اثر فعالیت اندام‌های گوپایی حاصل می‌شود از نوع سایش است. در این حالت، جریان هوای برآمده از منبع انرژی دستگاه گفتار در اثر عبور از یک گرفتگی باریک تولید نوفه اغتشاش می‌کند. در تولید همخوان‌های سایشی، سایش هر یک از حفره‌های بازخوانی ساده مانند لب‌ها و زبان منجر به سایش کل دستگاه گفتار می‌شود. شکل ۱ تابع تغییرات سطح مقطع گرفتگی دستگاه گفتار را در واحد زمان به هنگام آمادگی، انجام و رهش یک همخوان سایشی در بافت  $VSV/S$  (یک همخوان سایشی) نشان می‌دهد. به طوری که مشاهده می‌شود همزمان با فعالیت الگوی سایشی در بخش پایانی واکه اول (مرحله آمادگی)، سطح مقطع گرفتگی دستگاه گفتار کاهش یافته است. حداقل میزان سطح مقطع گرفتگی دستگاه گفتار (حداکثر میزان باریک‌شدگی) همزمان با لحظه‌ای است که الگوی سایشی به اوج فعالیت خود رسیده است (مرحله انجام). در این لحظه دینامیک دستگاه گفتار، گرفتگی باریکی در سطح جهاز صوتی ایجاد کرده است. پس از رهش گرفتگی، با کاهش فعالیت الگوی سایشی و شروع

۱. میزان قوت یک همخوان (یا واکه) به معنای کیفیت تولید آن همخوان از نظر میزان تحقق آوایی مشخصه‌های تولیدی است. اگر مشخصه‌های آوایی یک همخوان به طور کامل پیاده‌سازی شوند، آن همخوان به صورت گونه اصلی خود، که گونه سخت و قوی است، ظاهر می‌یابد، اما اگر پیاده‌سازی مشخصه‌های آوایی به هنگام تولید یک همخوان به طور ناقص صورت گیرد، آن همخوان به درجات مختلف در زنجیره آوایی گفتار تضعیف شده یا کاهش می‌یابد. کاهش همخوانی شامل کاهش میزان گرفتگی (یا افزایش رسایی)، کاهش دامنه یا شدت انرژی یا کوتاه‌شدگی دیرش است (لاووا، ۲۰۰۱).

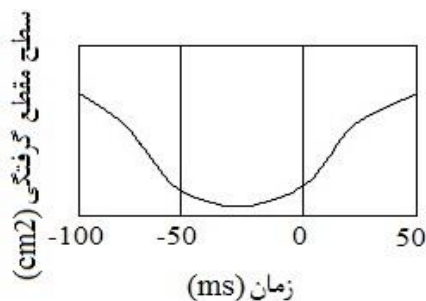
فعالیت الگوی واکه‌ای دوم، سطح مقطع گرفتگی دستگاه گفتار به تدریج افزایش یافته و الگوی گرفتگی دستگاه گفتار از سایش به باز (رسا) تغییر کرده است.

در لحظه سایش، مجرای چاکنای نسبت به گرفتگی فوق حنجره‌ای بازتر است. به همین علت افت فشار در اطراف حفره فوق حنجره در مقایسه با حفره حنجره بیشتر است. بر این اساس چون چاکنای در وضعیت گسترده قرار دارد جریان هوای ششی برونسو با فشار زیاد و بدون آن که بخشی از نیروی خود را در حفره حنجره در اثر ارتعاش تارآواها از دست بدهد تماماً در حفره فوق حنجره انتشار می‌یابد. این فشار زیاد موجب سفتی بیشتر تارآواها و بازشدگی بیشتر آنها می‌شود که پیامد آن عدم ارتعاش تارآواها یا نوبه حفره حنجره است (استیونز، ۱۹۹۸: ۳۸۲).

شکل ۲ تابع تغییرات سطح مقطع گرفتگی چاکنای (Ag) و حفره دهان (Ac) را به هنگام تولید یک همخوان سایشی بیواک در رشته آوایی /VSV/ نشان می‌دهد. این شکل دینامیک الگوی چاکنای و الگوی سایشی را به صورت دنباله‌ای پیوسته از الگوهای گرفتگی متغیر در واحد زمان نشان می‌دهد. در این شکل جابه‌جایی غیرفعال تارآواها در اثر فشار هوای فوق حنجره‌ای به صورت خط‌چین نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که در مرحله آمادگی، همزمان با کاهش سطح مقطع گرفتگی AC، فعالیت چاکنای با الگوی گسترده آغاز شده و در لحظه میانی سایش به حداکثر میزان خود رسیده است. در این مرحله، لحظه ۵۰- برابر با لحظه‌ای است که ارتعاش تارآواها متوقف می‌شود. از لحظه ۵۰- تا ۰ که برابر با محدوده زمانی سایش است، میزان گستردگی تارآواها در اثر افزایش فشار هوای فوق حنجره‌ای بیشتر شده است. با باز شدن گرفتگی در مرحله رهش، سطح مقطع گرفتگی AC افزایش یافته و از میزان گستردگی چاکنای به تدریج کاسته شده است. در لحظه ۰ با تأمین شرایط آبرودینامیکی لازم، یعنی کاهش میزان گستردگی چاکنایی و کاهش اختلاف فشار هوای فوق حنجره‌ای و زیرحنجره‌ای، تناوب چاکنایی برای واکه V آغاز شده است.

برای آن که تارآواها همزمان با سایش فوق حنجره ارتعاش کنند، لازم است حجم حفره فوق حنجره افزایش یابد. وقتی حجم این ناحیه افزایش می‌یابد فشار هوای ششی برونسو کم می‌شود. در نتیجه نیروی کمتری بر سطح فوقانی تارآواها وارد می‌شود که پیامد آن جابه‌جایی کمتری تارآواها به سمت خارج است. به علاوه، با کاهش فشار هوای ششی، اختلاف فشار هوای فوق حنجره‌ای و زیرحنجره‌ای کم می‌شود که در نتیجه آن، جریان هوا با فشار بیشتری از چاکنای عبور کرده و تارآواها را مرتعش می‌سازد (استیونز، ۱۹۹۸: ۳۸۲). شکل ۳ تابع تغییرات سطح مقطع گرفتگی سایشی (Ac) و چاکنای (Ag) را به هنگام تولید یک همخوان سایشی واکدار در زنجیره آوایی /VZV/ نشان می‌دهد. تأثیر افزایش حجم حفره فوق حنجره بر منحنی فعالیت تارآواها در این مرحله با خط‌چین نشان داده شده است. به طوری که ملاحظه می‌شود وقتی حجم فوق حنجره افزایش می‌یابد، از میزان گستردگی تارآواها به طور قابل توجهی کاسته می‌شود به طوری که با عبور جریان هوا از چاکنای، حفره حنجره در اثر ارتعاش تارآواها در وضعیت بازخوانی قرار می‌گیرد. در مرحله رهش، که در فاصله

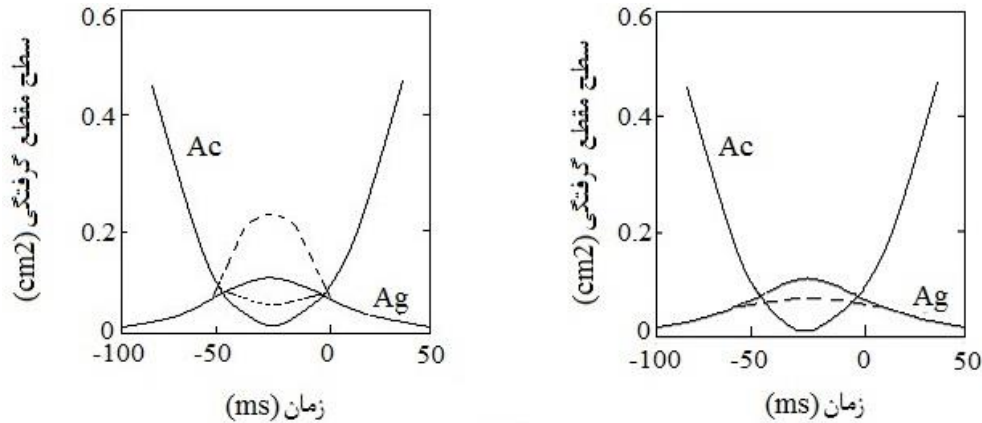
زمانی ۰ تا ۵۰ قابل مشاهده است، همزمان با پایان سایش و آغاز واکه، سطح مقطع گرفتگی دستگاه گفتار به تدریج تا یک میزان بیشینه افزایش یافته و سطح مقطع گرفتگی چاکنای به حداقل میزان خود رسیده است. سیگنال صوتی سایشی‌های بیواک به شکل یک موج مرکب نامنظم با شدت انرژی زیاد است درحالی‌که سیگنال صوتی سایشی‌های واگذار به صورت ترکیبی از موج مرکب منظم و نامنظم است که نشان می‌دهد حنجره همزمان با لحظه میانی سایش در وضعیت ارتعاش است (لده‌فوگد<sup>۱</sup> و جانسون<sup>۲</sup>، ۲۰۱۱). چون چاکنای به‌هنگام تولید سایشی‌های بیواک، گسترده است و جریان هوا صرف مرتعش ساختن تارآواها نمی‌شود، متوسط شدت انرژی موج نوفه اغتشاشی در سایش‌های بیواک به‌طور قابل توجهی بیشتر از سایشی‌های واگذار است (همان). شکل کلی توزیع انرژی بر روی طیف‌نگاشت همخوان‌های سایشی به‌صورت پراکنده و نامنظم است. کمترین فرکانس دارای شدت انرژی بیشینه در این طیف نوفه‌ای با متغیر F نشان داده می‌شود. مقدار F به‌صورت تابعی از محل گرفتگی همخوان سایشی، منحنی پوش تجمعی طیف فرکانسی نوفه سایش را در نواحی مؤثر فرکانسی تغییر می‌دهد: هر قدر فاصله محل گرفتگی سایشی از حفره لب‌ها دورتر باشد، مقدار F کمتر و هر قدر به آن نزدیک‌تر باشد، مقدار F بیشتر است. به این ترتیب تمرکز بیشینه انرژی در طیف‌نگاشت سایشی‌های لثوی روی نواحی فرکانسی بالا (۳۵۰۰ هرتز به بالا)، در سایشی‌های لثوی-کامی، روی نواحی فرکانسی میانی (۲۲۰۰ هرتز به بالا) و در سایشی‌های نرم‌کامی (یا ملازی) روی نواحی فرکانسی نسبتاً پایین (۱۶۰۰ هرتز به بالا) است (مایانگ<sup>۳</sup>، وب<sup>۴</sup> و لدربرگ<sup>۵</sup>، ۲۰۱۴؛ ارتمر<sup>۶</sup> و گافمن<sup>۷</sup>، ۲۰۱۱؛ رییدی<sup>۸</sup>، ۲۰۱۵).



شکل ۱: تابع تغییرات سطح مقطع گرفتگی حفره دهان هنگام فعالیت تولید یک همخوان سایشی

(استیونز، ۱۹۹۸: ۳۸۲)

1. Ladefoged
2. Johnson
3. Mi-young
4. Webb
5. Lederberg
6. Ertmer
7. Goffman
8. Reidy



شکل ۲: تابع تغییرات سطح مقطع گرفتگی چاکنای (Ag) و حفرة دهان (Ac) به‌هنگام تولید یک همخوان سایشی بیواک (چپ) و واگذار (راست) (استیونز، ۱۹۹۸: ۳۸۳)

چهار شاخصه صوتی تعیین‌کننده کیفیت تولید سایشی‌ها عبارتند از: (۱) طیف فرکانسی نوفه سایش: این ویژگی شکل کلی توزیع انرژی بر روی طیف‌نگاشت را تعیین می‌کند و از طریق اندازه‌گیری‌های مختلف از جمله متغیر F پیاده‌سازی می‌شود؛ (۲) الگوی گذار سازه‌های فرکانسی از همخوان سایشی به واکه بعد و بالعکس: این ویژگی همچون ویژگی اول یک شاخصه فرکانسی برای تعیین محل تولید همخوان سایشی است؛ (۳) دامنه یا شدت انرژی نوفه سایش؛ (۴) دیرش نوفه سایش (جانگمن<sup>۱</sup>، وایلند<sup>۲</sup> و وانگ<sup>۳</sup>؛ تاد<sup>۴</sup>، ادواردز<sup>۵</sup> و لیتووسکی<sup>۶</sup>، ۲۰۱۱). ویژگی‌های سوم و چهارم، یعنی دیرش و شدت انرژی نوفه سایش معتبرترین همبسته‌های صوتی میزان قوت یک همخوان سایشی است (جانگمن و همکاران، ۲۰۰۰). کاهش همخوان‌های گرفته منجر به کوتاه‌تر شدن دیرش آنها می‌شود. نوفه سایش همخوان‌های سایشی ضعیف کوتاه‌تر از سایشی‌های قوی است. شدت انرژی نیز میزان قوت همخوان‌های گرفته را بر اساس نحوه تولیدشان نشان می‌دهد. همخوان‌های سایشی ضعیف‌تر، شدت انرژی نوفه‌ای کم‌تری دارند که باعث می‌شود شباهت آوایی آنها با واکه مجاور بیشتر شود (ریدی<sup>۷</sup>، کریستنسن<sup>۸</sup>، وین<sup>۹</sup>، لیتووسکی و ادواردز، ۲۰۱۷). از سوی دیگر، کاهش سایشی‌ها ممکن است به‌صورت یک فرایند واجی و مقوله‌ای روی دهد. مثلاً کاهش یک همخوان

1. Jongman
2. Wayland
3. Wong
4. Todd
5. Edwards
6. Litovsky
7. Reidy
8. Kirstensen
9. Winn

سایشی به همخوان چاکنایی (s→h) یا حذف یک همخوان سایشی از زنجیره آوایی گفتار دو نوع کاهش واج‌شناختی همخوان سایشی محسوب می‌شوند (لاووا، ۲۰۰۱).

### ۳- پیشینه پژوهش

کرچنر<sup>۲</sup> (۱۹۹۸: ۱۷۹) نشان داده است تکیه و جایگاه نوایی همخوان (در سطح کلمه) دو عامل مهم و تأثیرگذار بر میزان قوت همخوان‌های گرفته هستند. نتایج مطالعات صوتی وی نشان داده است که مشخصه‌های همخوانی در مرز آغازی کلمه معمولاً به‌طور کامل پیاده‌سازی می‌شوند<sup>۳</sup> درحالی‌که در دو جایگاه میانی (به‌طور مشخص، بین‌واکه‌ای) و پایانی، اندام‌های گویایی با توجه به محدودیت زمانی ایجاد شده اغلب به هدف همخوانی مورد نظر نمی‌رسند و به این ترتیب کیفیت همخوان از هدف تولیدی اصلی خود فاصله می‌گیرد. بنابراین تضعیف بیشتری در این جایگاه نسبت به جایگاه آغازی کلمه اتفاق می‌افتد. کاهش همچنین متأثر از عامل تکیه است. همخوان‌ها در جایگاه تکیه قوی‌تر و در جایگاه بی‌تکیه ضعیف‌ترند. بنابراین، پیاده‌سازی مشخصه‌های همخوانی در جایگاه تکیه بر نسبت به جایگاه بی‌تکیه بیشتر روی می‌دهد. جانگمن و همکاران (۲۰۰۰) در یک مطالعه صوتی جامع به بررسی همبسته‌های صوتی محل تولید همخوان‌های سایشی در زبان انگلیسی پرداخت. نتایج این پژوهش نشان داد محل وقوع قله و الگوی توزیع انرژی در طیف فرکانسی سایشی‌های، لب و دندانی، لثوی، لثوی-کامی و چاکنایی انگلیسی با یکدیگر اختلاف معنادار دارد. همچنین میزان نسبی شدت انرژی در طبقات مختلف همخوان‌های سایشی به‌طور معناداری با یکدیگر متفاوت است. وی در این پژوهش علاوه بر بررسی ویژگی‌های صوتی ناحیه ایستای سایشی‌ها نواحی پویای مربوط به گذار سازه‌های فرکانسی را نیز بررسی و به این نتیجه رسید که هر دو ناحیه ایستا و پویای طیف فرکانسی در طبقات مختلف همخوان‌های سایشی با یکدیگر تفاوت معنادار دارند. توریرا<sup>۴</sup> و ارنستوس<sup>۵</sup> (۲۰۱۲) با هدف بررسی میزان قوت همخوان سایشی /S/ در جایگاه بین‌واکه‌ای در زبان اسپانیایی، پارامترهای واک (شدت تناوب چاکنایی)، اختلاف دامنه انرژی فرکانس‌های ۴ تا ۸ کیلوهرتز بین بخش ایستای همخوان سایشی و واکه بعد و دیرش افت انرژی در فرکانس‌های پایین همخوان سایشی (۰ تا ۵ کیلوهرتز) را در داده‌های صوتی هدف آزمایش خود مشاهده و اندازه‌گیری کردند. نتایج نشان داد /S/ در جایگاه بین‌واکه‌ای در بیش از یک سوم داده‌ها به‌صورت واکدار تولید می‌شود؛ هر سه پارامتر صوتی اندازه‌گیری شده به سرعت تولید گفتار و همچنین دو عامل جایگاه نوایی (در سطح کلمه) و تکیه حساسیت

1. Lavoie

2. Kirchner

۳. البته در اینجا منظور از پیاده‌سازی کامل مشخصه‌های همخوانی در جایگاه آغازی کلمه، مشخصه‌های مربوط به میزان گرفتگی و شدت تولید (شدت انرژی) همخوان است. برخی مشخصه‌ها مانند مشخصه [ت+واک] در همخوان‌های گرفته در جایگاه آغازی کلمه، معمولاً تظاهر آوایی ندارند.

4. Torreira

5. Ernestus

نشان می‌دهند. این نتایج همچنین نشان داد که رفتار صوتی /s/ تا حدی تابع شرایط صرفی-نحوی است به نحوی که /s/ در مرز بین ریشه و پسوندهای تصریفی نسبت به دیگر موارد بیشتر مستعد تضعیف است. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که پیاده‌سازی مشخصه‌های صوتی /s/ در واژگان پربسامد نسبت به واژگان کم‌بسامد ناقص‌تر است و بنابراین میزان قوت این همخوان در واژگان پربسامد نسبت به واژگان کم‌بسامد کمتر است.

بو اوچیت<sup>۱</sup> و دیویدسون<sup>۲</sup> (۲۰۱۳) نشان داده‌اند که میزان قوت همخوان‌های سایشی در زبان انگلیسی تا حد زیادی تابع بافت آوایی همخوان است. سایشی‌ها در مجاورت آواهای رسا (واکه‌ها و همخوان‌های رسا) در مقایسه با آواهای گرفته از قوت کم‌تری برخوردارند. زیرا دامنه انرژی آنها در نواحی فرکانسی میانی و بالا به‌طور معناداری ضعیف‌تر است.

هاولده<sup>۳</sup> و پریئو<sup>۴</sup> (۲۰۱۴) به یافته‌هایی مشابه با بو اوچیت و دیویدسون (۲۰۱۳) در زبان اسپانیایی دست یافته و ثابت کردند بافت آوایی، بر کاهش همخوان‌های سایشی تأثیرگذار است. کاهش سایشی‌ها در جایگاه بین‌واکه‌ای رایج‌تر از کاهش در مجاورت همخوان‌ها است.

برخی پژوهشگران ایرانی نیز به بررسی ویژگی‌های صوتی همخوان‌های سایشی در زبان فارسی پرداخته‌اند. رحیمی (۱۳۹۲) در یک پژوهش آزمایشگاهی به بررسی صوتی واکداری در همخوان‌های سایشی زبان فارسی پرداخت. وی در این پژوهش، میزان واکداری سایشی‌های واکدار را در بافت‌های آوایی مختلف اندازه‌گیری کرد. نتایج نشان داد همخوان‌های سایشی واکدار در آغاز واژه، میان دو واکه و پایان واژه واکداری کامل ندارند. به‌طور مشخص، بیشترین میزان واکداری همخوان‌های سایشی واکدار مربوط به جایگاه میان دو واکه و کم‌ترین آن مربوط به جایگاه بعد از واکه است. در جایگاه قبل از واکه میزان واکداری سایشی‌ها کم‌تر از جایگاه میان دو واکه و بیش‌تر از جایگاه بعد از واکه است. سایشی‌ها در جایگاه‌های قبل و بعد از همخوان‌های واکدار و بیواک، واکداری ناقصی دارند تا جایی که حتی ممکن است واک خود را از دست داده و درصد واکداری آنها به صفر برسد، یعنی تارهای صوتی برای مدت کوتاهی از ارتعاش باز بایستند.

اسدی، حسینی و نوربخش (۱۳۹۴) در پژوهشی در چارچوب آواشناسی قضایی به بررسی تأثیر پوشش‌های مربوط به صورت بر ویژگی‌های صوتی سایشی‌های بیواک /s, f, ʃ/ در زبان فارسی پرداختند. این پژوهش برای پاسخگویی به این پرسش انجام شد که آیا پوشش‌های مربوط به صورت بر ویژگی‌های صوتی سایشی‌های بیواک /s, f, ʃ/ تأثیر می‌گذارد؟ به این منظور، صدای پنج گویشور زن فارسی زبان در محیط آزمایشگاهی و در پنج موقعیت عادی، دارای ماسک جراحی، ماسک پلاستیکی، کلاه اسکی و کلاه کاسکت موتورسواری ضبط شد. پارامترهای مربوط به مشخصه‌های طیفی و شدت سایش مانند مرکز تجمع انرژی، قلّه طیفی و شدت

1. Bouavichith
2. Davidson
3. Hualde
4. Prieto

انرژی برای تحلیل آوایی انتخاب شد. نتایج به دست آمده از تحلیل داده‌ها نشان داد که پوشش‌های صورت به‌طور معناداری بر مقدار شدت، قله طیفی و مرکز تجمع انرژی سایشی‌ها بیواک تأثیر می‌گذارد که این امر به دلیل اختلالاتی است که برخی پوشاننده‌ها در جریان تولید آواها به وجود می‌آورند و در نهایت ویژگی‌های صوتی آواها را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند. همچنین نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان تغییرات در شدت انرژی سایشی‌های بیواک در حالت دارای کلاه کاسکت و بیش‌ترین میزان تغییرات در مرکز تجمع انرژی در حالت دارای کلاه کاسکت و ماسک پلاستیکی رخ می‌دهد. این نتایج همچنین نشان داد که قله طیفی سایشی‌های بیواک نسبت به شدت انرژی و مرکز تجمع انرژی تغییرات کم‌تری دارد.

اسدی، نوربخش و ساسانی (۱۳۹۸) در یک مطالعه آزمایشگاهی با اتخاذ رویکردی قضائی نسبت به پارامترهای صوتی مرکز تجمع انرژی و دیرش سایشی‌ها به بررسی میزان بالقوگی این پارامترها در تشخیص هویت گویندگان فارسی- زبان در همخوان‌های سایشی بی‌واک زبان فارسی پرداختند. یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داد مرکز تجمع انرژی /s/ و مرکز تجمع انرژی /l/ مناسب‌ترین پارامترهای صوتی در تمایز گویندگان هستند، اما دیرش /s/ با وجود معنادار بودن تفاوت آن در میان گویندگان، پارامتر مناسبی در تشخیص هویت گوینده در زبان فارسی به‌شمار نمی‌رود.

#### ۴- روش تحقیق: آزمایشگاهی

##### ۴-۱- داده‌ها و شرکت‌کنندگان

پیکره‌ای شامل ۱۹۲ جمله برای بررسی آوایی میزان قوت همخوان‌های سایشی فارسی طراحی شد. کلمات هدف طوری انتخاب شدند که شامل یکی از همخوان‌های سایشی بیواک یا واکدار فارسی (/s/ , /v/ , /f/ , /z/ , /ʃ/ , /ʒ/ , /ʒ/) در یکی از سه جایگاه نوایی آغازی، میانی (بین دو واکه) و پایانی کلمه باشند. تمامی کلمات انتخاب شده دوهجایی با ساخت هجایی CV.CV(C) و یا سه‌هجایی با ساخت هجایی CV.CV.CV(C) بودند. موضع تکیه و بافت آوایی همخوان‌های سایشی در انتخاب کلمات لحاظ گردید. بر این اساس، همخوان‌های آغازی از دو موضع تکیه‌بر و بدون تکیه و دو بافت آوایی واکدار و بیواک، همخوان‌های میانی از دو موضع تکیه‌بر و بدون تکیه و بافت آوایی واکدار و همخوان‌های پایانی از موضع تکیه‌بر و دو بافت آوایی واکدار و بیواک استخراج شدند. لازم به ذکر است که همخوان‌های سایشی در جایگاه بین‌واکه‌ای، فقط در بافت آوایی واکدار و در جایگاه پایانی کلمه، تنها در موضع تکیه‌بر قرار می‌گیرند. به این ترتیب، تعداد ۹۶ کلمه برای جایگاه آغازی (۲ (بافت آوایی) × ۲ (موضع تکیه) × ۶ (تعداد همخوان) × ۴ (تعداد کلمات))، ۴۸ کلمه برای جایگاه میانی (۲ (موضع تکیه) × ۶ (تعداد همخوان) × ۴ (تعداد کلمات)) و ۴۸ کلمه برای جایگاه پایانی (۲ (بافت آوایی) × ۶ (تعداد همخوان) × ۴ (تعداد کلمات)) انتخاب شدند.

به ازای هر یک از کلمات سپس جمله‌ای مناسب طراحی شد و کلمه مورد نظر در جایگاه تکیه زیربومی پیش‌هسته قرار گرفت. سپس ۱۸ گویشور فارسی معیار، این جملات را یک بار تولید کردند. ضبط داده‌ها در



فضایی آرام و در سکوت کامل انجام شد. بنابراین به‌طور کلی ۳۴۵۶ پاره‌گفتار به‌دست آمد:  $۱۸ \times ۱۹۲$ . نمونه‌ای از جملات آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: نمونه‌ای از داده‌های هدف پژوهش (زیر کلمات هدف خط کشیده شده است)

موضع تکیه‌بر	موضع بدون تکیه	بافت آوایی	جایگاه در سطح هجا
اون هفته <u>فیلمی</u> کلاسیک پخش شد. اون مجوز گرفت <u>ولی</u> نه با رشوه. بازیکن با <u>سیرش</u> عجب گلی زد. پسر بچه تک‌ <u>زنگی</u> زد و دررفت.	هوا <u>فردا</u> آفتابیه. براش <u>ورزش</u> خوبه. رنگ <u>صدفی</u> بهش میاد. براش <u>زیتون</u> خوبه.	واکدار بیواک واکدار بیواک	آغازی
چراغ‌های اضافی رو نباید <u>روشن</u> کرد. این <u>واژه</u> معانی زیادی داره. <u>شیوه</u> تدریسش خوب نبود. <u>نسیبم</u> ملایمی می‌وزه.	<u>کشاورز</u> زندگی ساده‌ای داره. تبعیض <u>نژادی</u> باید منسوخ بشه. اون به درک و شعور شاگرداش <u>توجه</u> نکرد. پول همیشه <u>آسایش</u> نمیاره.		بین واکه‌ای
	<u>پیاز</u> مزه خوبی به غذا می‌ده. <u>پیاز</u> طعم خوبی به غذا می‌ده. این نوع پرنده‌ها <u>آواز</u> نمی‌خونن. اون قبل از <u>آواز</u> تمرین می‌کنه.	واکدار بیواک واکدار بیواک	پایانی

#### ۴-۲- اندازه‌گیری‌های آوایی

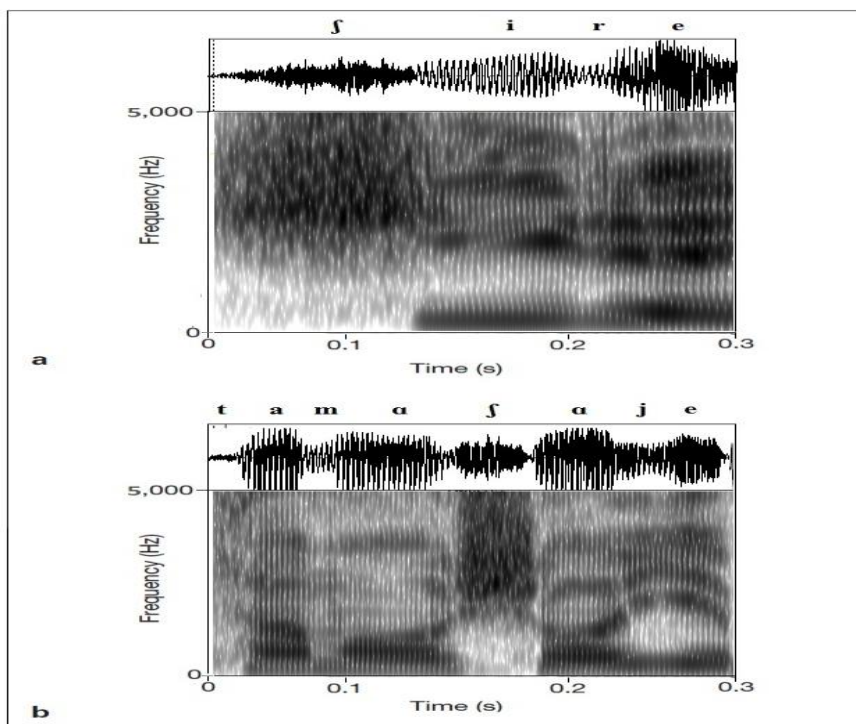
برای تحلیل صوتی داده‌ها از نرم‌افزار پرت<sup>۱</sup> نسخه ۶/۰/۴۳ (بورزما و وینینک، ۲۰۱۸) استفاده شد. در تحلیل صوتی داده‌ها از همزمانی سیگنال آوایی و طیف‌نگاشت استفاده گردید. تمامی همخوان‌های هدف ابتدا با توجه به معیارهای تقطیع صوتی پیترسون و لهیست<sup>۲</sup> (۱۹۶۰) در سیگنال آوایی داده‌ها شناسایی و برجسبدهی شده و سپس اندازه‌گیری‌های آوایی مربوطه، به صورت دستی به شیوه‌ای که در ذیل به آن اشاره می‌شود، بر روی آنها انجام شد.

ناحیه زمانی بین آغاز و پایانه انرژی نامنظم نوفه‌ای بر روی سیگنال صوتی و طیف‌نگاشت هر همخوان هدف، شناسایی و معیار اندازه‌گیری مقادیر دیرش همخوان سایشی قرار گرفت. حضور انرژی منظم بر روی سیگنال صوتی و نوار فرکانسی پایین در طیف‌نگاشت همخوان سایشی، معیار واکدار بودن همخوان مورد نظر

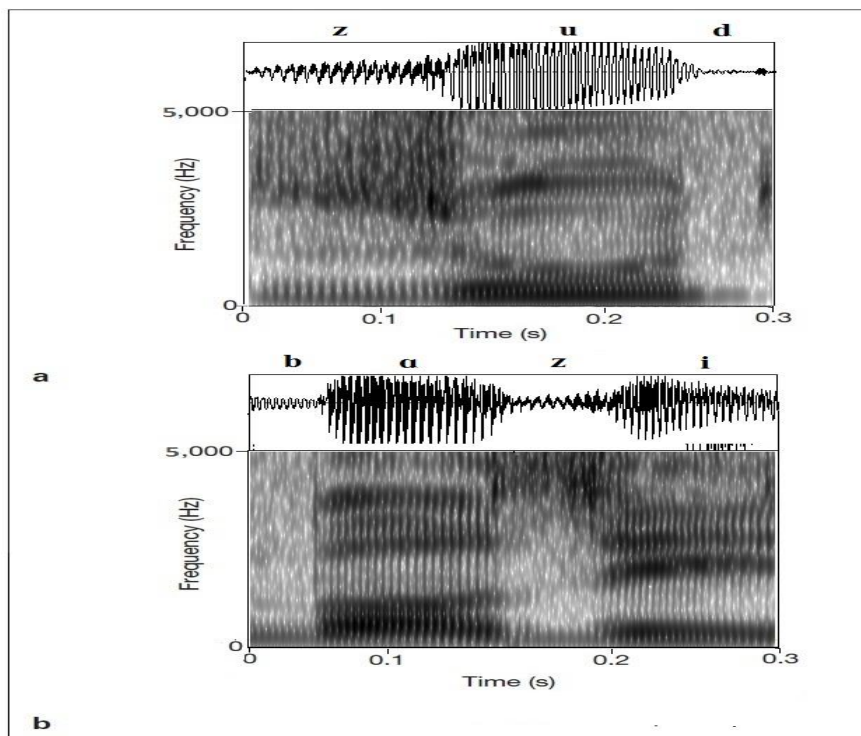
1. praat

2. Peterson & Lehiste

در نظر گرفته شد و از این طریق، فراوانی وقوع همخوان‌های سایشی واکدار و بیواک محاسبه گردید. لازم به توضیح است که در این پژوهش به پیروی از دیویدسان و بوایچیت (۲۰۱۳) تنها حضور انرژی روی فرکانس‌های پایین برای شناسایی و کدگذاری همخوان‌ها به صورت سایشی‌های واکدار مد نظر قرار گرفته است. به این ترتیب هر اندازه انرژی مستمر و پیوسته روی فرکانس‌های ۰-۱۰۰۰ هرتز، صرف نظر از میزان یا شدت انرژی، به صورت یک سایشی واکدار کدگذاری می‌شود.



شکل ۳: سیگنال آوایی و طیف نگاشت کلمات «شیر» (بالا) و «تماشای» (پایین) به ترتیب در جملات «به شیر گاز دست نزد» و «از تماشای بازی خسته شدم»



شکل ۴: سیگنال آوایی و طیف نگاشت کلمات «زود» (بالا) و «بازی» (پایین) به ترتیب در جملات «تمرین زود انجام داد» و «دیروز بازی نکردند»

شکل ۳ سیگنال آوایی و طیف نگاشت سایشی بیواک < ra در کلمات "شیر" و "تماشای" به ترتیب در جملات "به شیر گاز دست نزد" و "از تماشای بازی خسته شدم" نشان می‌دهد. < ra در "شیر" در جایگاه آغازی کلمه، موضع تکیه بر و بافت آوایی واکدار (قبل از < ra در جمله مورد نظر واکه < ra از کلمه به قرار گرفته است) و در "تماشای" در جمله مربوطه در جایگاه بین‌واکه‌ای و موضع تکیه بر تولید شده است. شکل ۴ سیگنال آوایی و طیف نگاشت سایشی واکدار /z/ را در کلمات "زود" (بالا) و "بازی" (پایین) به ترتیب در جملات "تمرین زود انجام داد" و "دیروز بازی نکردند" در بافت‌های آوایی و نوایی نشان می‌دهد.

دامنه انرژی طیف فرکانسی همخوان‌های سایشی در دو ناحیه فرکانسی محاسبه گردید؛ یکی در امتداد نواحی فرکانسی پایین، یعنی محدوده فرکانسی صفر تا ۱۰۰۰ هرتز و دیگری نواحی فرکانسی میانی و بالا هرتز، یعنی محدوده فرکانسی ۱۸۰۰ تا ۵۰۰۰ هرتز. برای اندازه‌گیری توزیع انرژی روی این نوارهای فرکانسی، از صافی‌های فرکانسی میان‌گذر هنینیگ استفاده گردید. شدت انرژی فرکانس‌های پایین، همبسته صوتی شدت واکداری است که برای اندازه‌گیری دقیق میزان واکداری در سایشی‌های واکدار استفاده می‌شود. در مقابل،

شدت انرژی نوار فرکانسی ۱۸۰۰ تا ۵۰۰۰ هرتز، همبسته صوتی شدت نوفه سایش است که مقادیر آن به صورت تابعی از میزان قوت همخوان سایشی تغییر می‌کند.

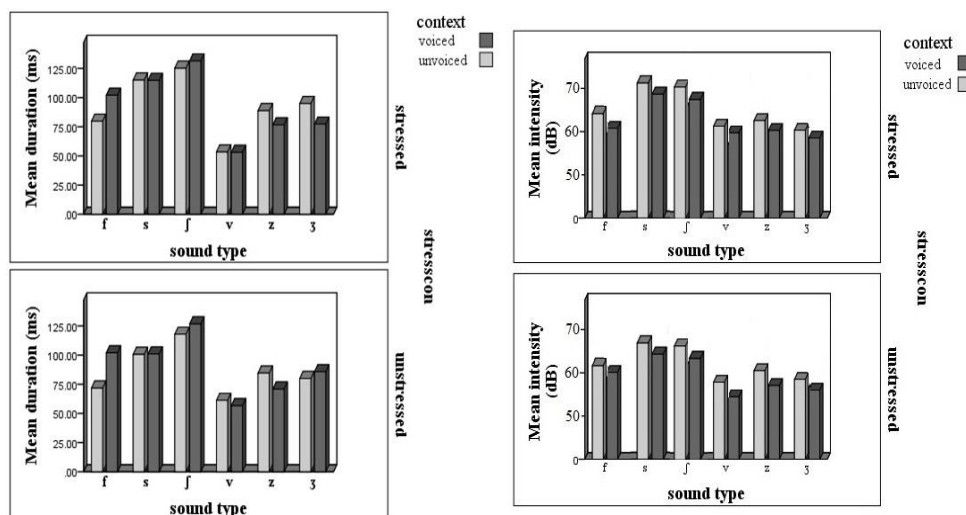
به پیروی از لاووا (۲۰۰۱) و هاولده و پریو (۲۰۱۴) فرض کردیم که میزان قوت همخوان‌های گرفته در فضای صوت‌شناختی از طریق اندازه‌گیری مقادیر انرژی نامنظم نوفه‌ای و شدت واگذاری حاصل می‌شود. همخوان‌های سایشی قوی‌تر دیرش طولانی‌تری دارند؛ در مقابل، طول نوفه سایش همخوان‌های سایشی به‌هنگام تضعیف کوتاه‌تر است. شدت انرژی، شاخص مهم دیگری برای ارزیابی میزان قوت همخوان‌های گرفته است. از این رو فرض کردیم که نوفه سایش همخوان‌های سایشی (یا قطعه رهش همخوان‌های انفجاری) در بافت‌های آوایی و جایگاه‌های نوایی قوی، شدت انرژی بیشتری دارد. بالعکس، وقتی سایشی‌ها در برخی بافت‌ها و جایگاه‌های نوایی ضعیف، تضعیف می‌شوند شدت نوفه سایش آنها به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، فرض کردیم که سایشی‌های واگذار به‌هنگام کاهش، اغلب با شدت واگذاری بیشتری تولید می‌شوند زیرا میزان گرفتگی آنها تا حدودی کاهش یافته و در نتیجه رساتر تولید می‌شوند. همخوان‌های سایشی بیواک نیز در صورت کاهش، ممکن است به گونه واگذار تبدیل شده و از میزان سختی آنها کاسته شود. پیامد صوت‌شناختی افزایش رسایی، افزایش شدت انرژی فرکانس‌های پایین و توزیع سازه‌ای انرژی در فرکانس‌های میانی و بالاست. بنابراین به‌طور خلاصه، بر اساس پیشینه مطالعات صوتی، این‌گونه فرض کردیم که هر قدر یک همخوان سایشی قوی‌تر باشد، دیرش آن بیشتر است؛ شدت انرژی فرکانس‌های میانی و بالای آن به‌عنوان همبسته صوتی شدت نوفه سایش بیشتر است، ولی شدت انرژی فرکانس‌های پایین آن به‌عنوان همبسته صوتی شدت واگذاری کم‌تر است؛ برعکس، هر قدر یک همخوان سایشی ضعیف‌تر شود، دیرش آن کوتاه‌تر می‌شود؛ شدت نوفه سایش آن کاهش می‌یابد؛ ولی شدت انرژی فرکانس‌های پایین آن به‌صورت تابعی از افزایش میزان رسایی همخوان بیشتر می‌شود.

## ۵- نتایج

### ۵-۱- جایگاه آغازی

#### ۵-۱-۱- دیرش و شدت نوفه سایش

شکل ۵ نمودار ستونی میانگین دیرش و شدت انرژی فرکانس‌های میانی و بالا (شدت نوفه سایش) همخوان‌های سایشی فارسی را در جایگاه آغاز کلمه به‌صورت تابعی از تکیه (تکیه‌بر و بدون تکیه) و بافت آوایی (واگذار و بیواک) نشان می‌دهد.



شکل ۵: میانگین دیرش و شدت انرژی فرکانس‌های میانی و بالای همخوان‌های سایشی در جایگاه آغازی به صورت تابعی از دو عامل تکیه و بافت آوایی

همان‌طور که مشاهده می‌شود همخوان‌های سایشی بیواک /f/، /s/، /ʃ/ در هر دو موضع تکیه‌بر و بدون تکیه و در هر دو بافت واکدار و بیواک، دیرش و شدت انرژی بیشتری نسبت به همتای واکدار خود دارند. همچنین، تکیه و بافت آوایی بر دیرش و شدت نوفه سایش همخوان‌های سایشی تأثیرگذارند. دیرش و شدت انرژی اغلب سایشی‌ها در موضع تکیه‌بر نسبت به موضع بدون تکیه بیشتر است. همچنین، شدت انرژی فرکانس‌های میانی و بالا برای تمامی همخوان‌های سایشی در بافت آوایی بیواک از بافت واکدار بیشتر است. اما تأثیر بافت آوایی بر دیرش سایشی‌ها با توجه به واکدار یا بیواک بودن همخوان‌ها متفاوت است: دیرش همخوان‌های سایشی بیواک در بافت واکدار بیشتر از دیرش آنها در بافت بیواک است (البته میزان این اختلاف در همخوان /s/ بسیار ناچیز است)، درحالی‌که دیرش سایشی‌های واکدار در بافت بیواک بیشتر از همین همخوان‌ها در بافت واکدار است (به جز همخوان /ʒ/ که در موضع بدون تکیه، در بافت بیواک اندکی دیرش کمتری نسبت به بافت واکدار دارد).

برای بررسی معنادار بودن اختلاف میانگین دیرش و شدت انرژی فرکانس‌های میانی و بالای همخوان‌های سایشی در جایگاه آغازی کلمه دو آزمون تحلیل واریانس سه‌عامله به‌طور مجزا انجام شد. در این آزمون‌ها سه عامل نوع همخوان، تکیه (تکیه‌بر و بدون تکیه) و بافت آوایی (واکدار و بیواک) به‌عنوان عوامل مستقل و پارامترهای صوتی دیرش و شدت انرژی فرکانس‌های میانی و بالا به‌عنوان عامل وابسته انتخاب شدند. نتایج در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج مربوط به اثر مستقل دو عامل نوع همخوان و تکیه نشان می‌دهد که همخوان‌های سایشی فارسی از نظر دیرش و شدت انرژی با یکدیگر اختلاف معنادار دارند. همچنین، مقادیر دیرش و شدت انرژی سایشی‌ها در موضع تکیه‌بر نسبت به موضع بدون تکیه به‌طور معناداری بیشتر است. این

نتایج همچنین نشان می‌دهد که اثر بافت آوایی بر شدت انرژی سایشی‌ها معنادار است ولی بر دیرش آنها معنادار نیست. با این حال، اثر تعاملی دو عامل بافت و نوع همخوان بر دیرش همخوان‌های سایشی معنادار است.

**جدول ۲: خلاصه نتایج آزمون تحلیل واریانس برای محاسبه سطح معناداری اثر نوع همخوان، بافت و تکیه بر دیرش و شدت انرژی فرکانس‌های میانی و بالای همخوان‌های سایشی در جایگاه آغازی**

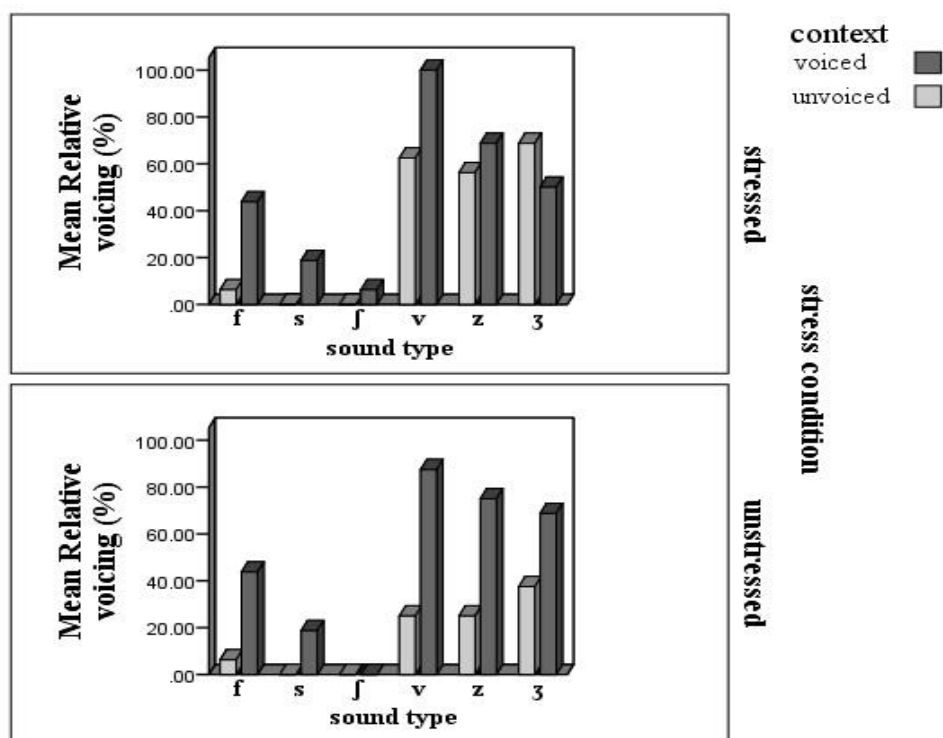
متغیر	درجه آزادی	پارامتر صوتی	میزان $F$	میزان $p$
نوع همخوان	۵	دیرش	۷۹/۲۲	۰/۰۰۰
		شدت انرژی	۹۱/۳۴	۰/۰۰۰
بافت	۱	دیرش	۰/۹۳	۰/۳۳۶
		شدت انرژی	۱۸/۲۹	۰/۰۰۰
تکیه	۱	دیرش	۱۴/۱	۰/۰۰۰
		شدت انرژی	۳۳/۲۴	۰/۰۰۰
بافت*نوع همخوان	۵	دیرش	۶/۴۶	۰/۰۰۰
		شدت انرژی	۰/۷۷	۰/۴۵۱
تکیه*نوع همخوان	۵	دیرش	۱/۳۹	۰/۲۲۵
		شدت انرژی	۰/۸۴	۰/۳۹۵
تکیه*بافت	۱	دیرش	۱/۱۹	۰/۲۷۵
		شدت انرژی	۱/۲۷	۰/۲۴۳

نتایج مقایسه‌های تعقیبی برنولی نشان داد که دیرش سایشی‌های بیواک /f/ و /j/ در بافت واکدار نسبت به بافت بیواک به‌طور معناداری بیشتر است؛ همچنین دیرش سایشی‌های واکدار /v/، /z/ و /3/ در بافت بیواک نسبت به بافت واکدار به طرز معناداری بیشتر است.

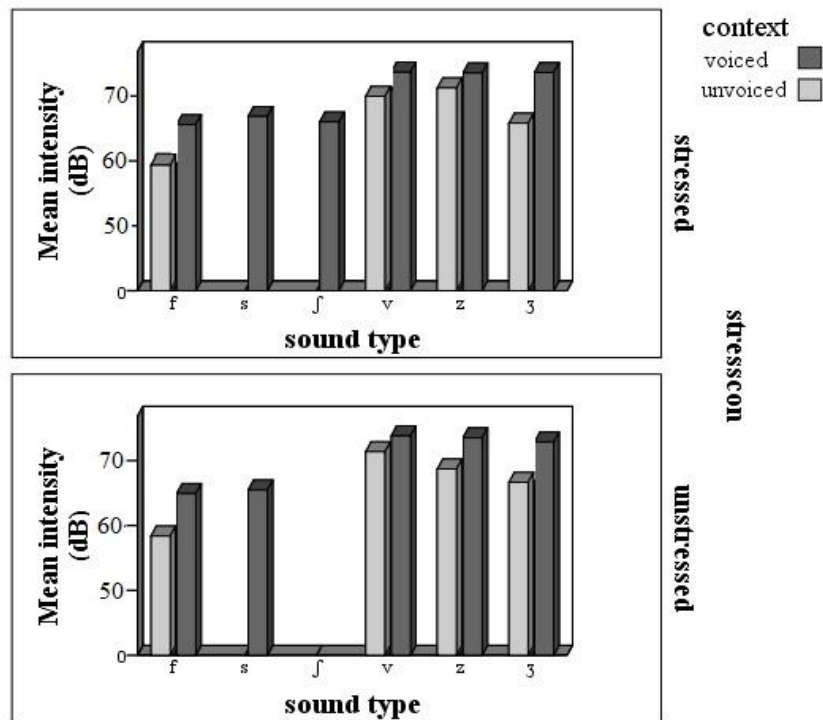
#### ۵-۱-۲- واکداری- بیواکی

الگوی واکداری- بیواکی همخوان‌های سایشی طی یک اندازه‌گیری مقوله‌ای از طریق محاسبه فراوانی وقوع تظاهر آوایی هر یک از همخوان‌ها به‌صورت مقوله واکدار یا بیواک در جایگاه آغازی، برای دو موضع تکیه‌بر و بدون تکیه و دو بافت واکدار و بیواک به‌دست آمد. شکل ۶ میانگین فراوانی (بر حسب درصد) واکداری هر یک از همخوان‌های سایشی را در جایگاه آغازی به‌صورت تابعی از بافت آوایی و تکیه نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد بافت آوایی بر الگوی واکداری-بیواکی همخوان‌های سایشی تأثیر بسزایی دارد. میزان فراوانی واکداری تمامی سایشی‌ها اعم از سایشی‌های واکدار و بیواک در بافت واکدار به‌طور قابل ملاحظه‌ای از بافت بیواک بیشتر است (به‌طور مثال، همخوان /f/ در هر دو محیط تکیه‌بر و بدون تکیه، در بافت واکدار در ۴۴٪

موارد به صورت واکدار تولید شده است در حالی که همین همخوان در بافت بیواک تنها در ۶.۲۵٪ موارد تظاهری واکدار دارد. همین‌طور میزان واکداری سایشی بیواک /s/ در بافت واکدار حدود ۱۹٪ است در حالی که این همخوان در بافت بیواک فاقد هر میزان فراوانی واکداری است. این الگو برای سایشی‌های واکدار نیز صادق است. میانگین فراوانی وقوع واکداری برای تمامی سایشی‌های واکدار در بافت واکدار به‌طور قابل توجهی از بافت بیواک بیشتر است. یعنی سایشی‌های واکدار در بافت واکدار در اغلب موارد به صورت گونه واکدار تولید شده‌اند ولی در بافت بیواک از فراوانی واکداری آنها کاسته شده است. پس از این مرحله، شدت انرژی فرکانس‌های پایین‌تر از ۱۰۰۰ هرتز به‌عنوان همبسته صوتی میزان یا شدت واکداری هر همخوان سایشی واکدار (شامل تمامی سایشی‌هایی که تظاهر آوایی واکدار داشته‌اند) به دست آمد.



شکل ۶: فراوانی وقوع (بر حسب درصد) واکداری در همخوان‌های سایشی آغازی به صورت تابعی از دو عامل تکیه و بافت آوایی



شکل ۷: میانگین شدت انرژی صافی فرکانسی ۱۰۰۰-۰ هرتز برای سایشی‌هایی که در جایگاه آغازی به صورت واکدار تولید شده‌اند. میانگین مقادیر این پارامتر به تفکیک دو سطح تکیه‌بر و بدون تکیه و دو بافت آوایی واکدار و بیواک ارائه شده است.

شکل ۷ میانگین شدت انرژی صافی فرکانسی ۱۰۰۰-۰ هرتز را برای همخوان‌های سایشی مختلف در جایگاه آغازی به صورت تابعی از تکیه و بافت آوایی نشان می‌دهد. این شکل دو واقعیت مهم را نشان می‌دهد: اول آن که میانگین شدت انرژی فرکانس‌های ۱۰۰۰-۰ هرتز برای سایشی‌های واکدار از سایشی‌های بیواکی که تحت تأثیر عامل بافت آوایی به گونه واکدار خود تبدیل شده‌اند، به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر است؛ دوم آن که میانگین شدت واکداری تمامی همخوان‌ها اعم از سایشی‌های واکدار و سایشی‌های بیواک (واکدار شده) در بافت آوایی واکدار نسبت به بافت بیواک بیشتر است. نتایج یک آزمون تحلیل واریانس سه‌عامله (جدول ۳) نشان داد که اثر مستقل دو عامل نوع همخوان و بافت بر شدت انرژی فرکانس‌های ۱۰۰۰-۰ هرتز معنادار است، ولی تکیه بر مقادیر این پارامتر صوتی تأثیر معنادار ندارد. همچنین اثر تعاملی هیچ یک از عوامل با یکدیگر معنادار نیست.



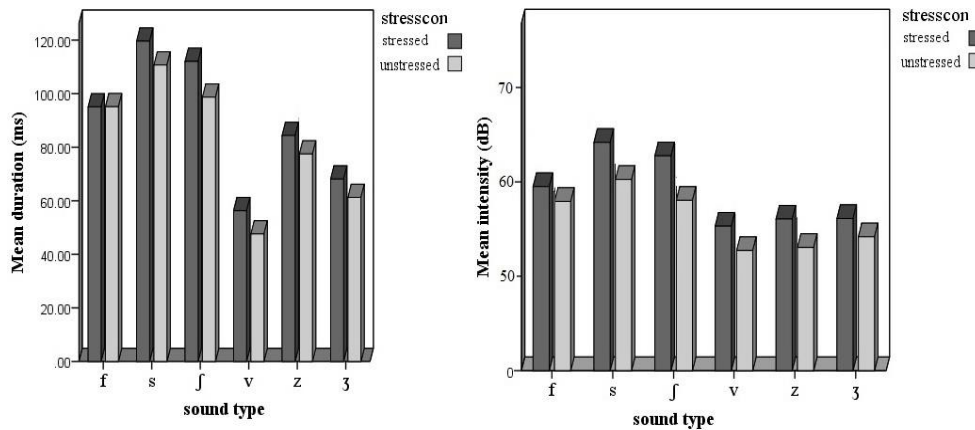
جدول ۳: خلاصه نتایج آزمون تحلیل واریانس برای محاسبه سطح معناداری اثر نوع همخوان، بافت و تکیه بر شدت انرژی فرکانس‌های ۱۰۰۰-۰ هر تتر همخوان‌های سایشی در جایگاه آغازین

متغیر	درجه آزادی	میزان $F$	میزان $p$
نوع همخوان	۵	۳۶/۱۱	۰/۰۰۰
بافت	۱	۹/۴۱	۰/۰۰۰
تکیه	۱	۱/۶۳	۰/۲۱۶
بافت*نوع همخوان	۵	۰/۹۴	۰/۳۵
تکیه*نوع همخوان	۵	۰/۸۶	۰/۴۴
تکیه*بافت	۱	۱/۷۳	۰/۲۸۶

## ۲-۵- جایگاه میانی

### ۲-۵-۱- دیرش و شدت نوفه سایش

شکل ۸ میانگین دیرش و شدت انرژی فرکانس‌های میانی و بالای همخوان‌های سایشی را در جایگاه میانی به صورت تابعی از الگوی تکیه نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود که دیرش و شدت انرژی تمامی همخوان‌های سایشی در موضع بدون تکیه نسبت به موضع تکیه‌بر، کم‌تر است (البته دیرش سایشی بیواک /f/ در هر دو موضع تکیه‌بر و بدون تکیه تقریباً یکسان است). این شکل همچنین نشان می‌دهد که دیرش و شدت انرژی همخوان‌های سایشی بیواک نسبت به همتای واکنش‌شان در هر دو موضع تکیه‌بر و بدون تکیه بیشتر است. در هر دو موضع تکیه‌بر و بدون تکیه، سایشی بیواک /s/ بیشترین میزان دیرش و شدت انرژی سایشی واکنش /v/ کم‌ترین دیرش و شدت انرژی را در بین تمامی همخوان‌های سایشی در جایگاه میانی دارند. برای بررسی معنادار بودن اختلاف میانگین دیرش و شدت انرژی فرکانس‌های میانی و بالای همخوان‌های سایشی در جایگاه میانی کلمه، دو آزمون تحلیل واریانس دو عامله انجام شد. در این آزمون دو عامل نوع همخوان و موضع تکیه (تکیه‌بر و بدون تکیه) به عنوان عوامل مستقل و پارامتر صوتی دیرش و شدت انرژی فرکانس‌های میانی و بالا به عنوان عامل وابسته انتخاب شدند. جدول ۴ خلاصه نتایج آماری مربوطه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود اثر مستقل هر دو عامل نوع همخوان و تکیه بر دیرش سایشی‌ها در بافت بین واکه‌ای معنادار است ولی اثر تعاملی این دو عامل معنادار نیست.



شکل ۸: میانگین دیرش و شدت انرژی فرکانس‌های میانی و بالای همخوان‌های سایشی در جایگاه میانی به صورت تابعی از عامل تکیه

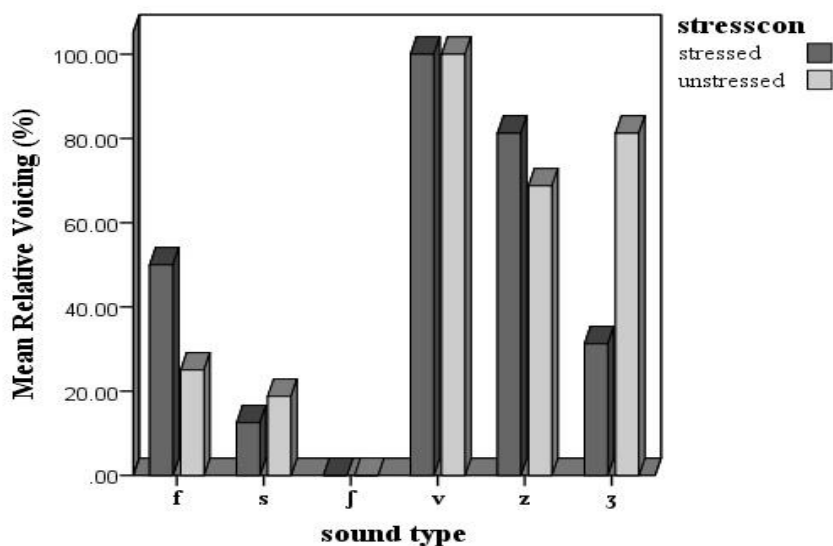
جدول ۴: خلاصه نتایج آزمون تحلیل واریانس برای محاسبه سطح معناداری اثر نوع همخوان و تکیه بر دیرش و شدت انرژی فرکانس‌های میانی و بالای همخوان‌های سایشی میانی

متغیر	درجه آزادی	پارامتر صوتی	میزان $F$	میزان $p$
نوع همخوان	۵	دیرش	۱۱۴/۵۸	۰/۰۰۰
		شدت انرژی	۱۰۸/۵۶	۰/۰۰۰
تکیه	۱	دیرش	۷/۵۶	۰/۰۰۰
		شدت انرژی	۱۱/۳۷	۰/۰۰۰
*نوع همخوان تکیه	۵	دیرش	۲/۴۵	۰/۰۳۵
		شدت انرژی	۱/۰۵	۰/۲۹۴

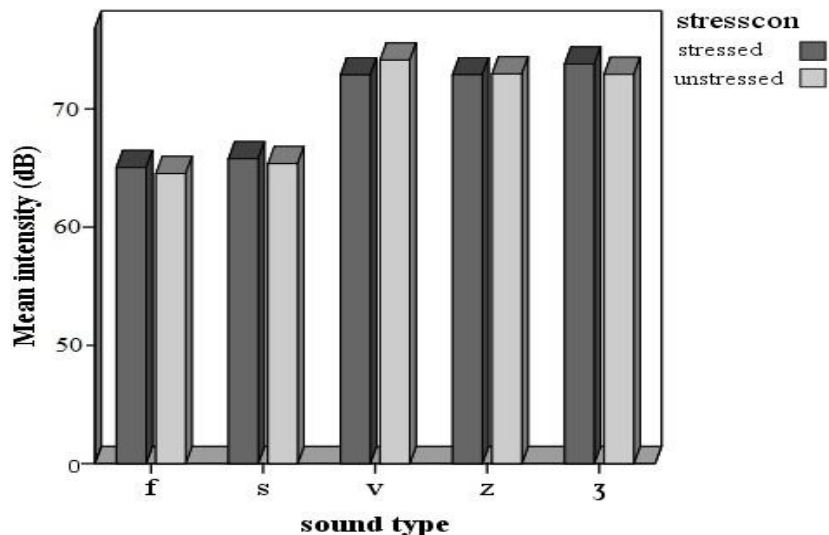
#### ۵-۲-۲- واکداری- بیواکی

شکل ۹ فراوانی وقوع (بر حسب درصد) واکداری همخوان‌های سایشی میانی (در جایگاه بین‌واکه‌ای) را در دو موضع تکیه‌بر و بدون تکیه نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که درصد واکداری سایشی‌های واکدار در هر دو موضع تکیه‌بر و بدون تکیه نسبت به سایشی‌های بیواک بیشتر است. اما شکل الگوی منظمی از فراوانی واکداری را به صورت تابعی از الگوی تکیه نشان نمی‌دهد. برای سایشی بیواک /s/ و سایشی واکدار /ʒ/ میزان واکداری در موضع بدون تکیه از موضع تکیه‌بر بیشتر است اما برعکس، برای سایشی بیواک /f/ و سایشی واکدار /z/ میزان واکداری در موضع بدون تکیه از موضع تکیه‌بر کمتر است. سایشی واکدار /v/ در هر دو موضع تکیه با ۱۰۰ درصد واکداری و سایشی بیواک /f/ در هر دو موضع با صددرصد بیواکی تولید شده‌اند.

شکل ۱۰ میانگین شدت انرژی صافی فرکانسی ۰-۱۰۰۰ هرتز را برای همخوان‌های سایشی (که تظاهر آوایی واکدار داشته‌اند) در جایگاه میانی به صورت تابعی از تکیه نشان می‌دهد. چنان‌که مشاهده می‌شود متوسط شدت انرژی فرکانس‌های ۰-۱۰۰۰ هرتز برای سایشی‌های واکدار از سایشی‌های بیواکی که متأثر از عامل بافت آوایی به صورت واکدار تولید شده‌اند، به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر است. این شکل همچنین نشان می‌دهد که تکیه در جایگاه میانی، همچون جایگاه آغازی، تأثیری بر شدت واکداری همخوان‌های سایشی ندارد. نتایج یک آزمون تحلیل واریانس دو عامله نشان داد که نوع همخوان بر مقادیر شدت انرژی فرکانس‌های ۰-۱۰۰۰ هرتز تأثیر معنادار دارد ( $p < 0.001$ ) ولی تکیه تأثیر معناداری بر مقادیر این پارامتر صوتی ندارد ( $F < 1$ ) و اثر تعاملی این دو عامل نیز بر مقادیر شدت انرژی فرکانس‌های ۰-۱۰۰۰ هرتز معنادار نیست ( $F < 1$ ).



شکل ۹: فراوانی وقوع (بر حسب درصد) واکداری همخوان‌های سایشی در جایگاه میانی

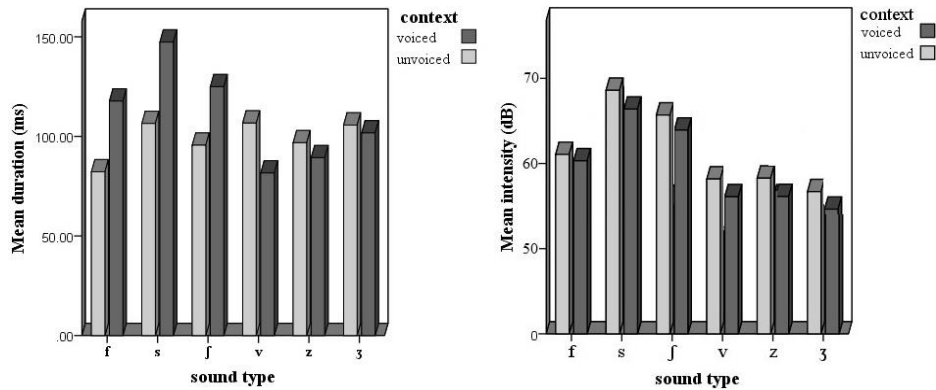


شکل ۱۰: میانگین شدت انرژی صافی فرکانسی ۰-۱۰۰۰ هرتز برای سایشی‌هایی که در جایگاه میانی به صورت واکنش تولید شده‌اند. میانگین مقادیر این پارامتر به تفکیک دو سطح تکیه‌بر و بدون تکیه ارائه شده است.

### ۳-۵- جایگاه پایانی

#### ۳-۵-۱- دیرش و شدت نوفه سایش

شکل ۱۱ میانگین دیرش و شدت انرژی فرکانس‌های میانی و بالای همخوان‌های سایشی را در جایگاه پایانی به صورت تابعی از بافت آوایی نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که تأثیر بافت آوایی بر دیرش همخوان‌های سایشی بسته به واکنش یا بیواک بودن همخوان‌ها متفاوت است. درحالی‌که سایشی‌های بیواک /f/، /s/ و /ʃ/ در بافت واکنش دیرش بیشتری نسبت به بافت بیواک دارند، سایشی‌های واکنش /v/، /z/ و /ʒ/ در بافت واکنش دیرش کمتری نسبت به بافت بیواک دارند. این شکل همچنین نشان می‌دهد که به‌طور کلی متوسط مقادیر دیرش همخوان‌های سایشی بیواک /f/، /s/ و /ʃ/ در دو بافت واکنش و بیواک از جفت واکنش‌شان بیشتر است.



شکل ۱۱: میانگین دیرش همخوان‌های سایشی در جایگاه پایانی به صورت تابعی از عامل بافت آوایی

برای بررسی معنادار بودن اختلاف میانگین دیرش همخوان‌های سایشی در جایگاه پایانی کلمه یک آزمون تحلیل واریانس دوعامله انجام شد. در این آزمون دو عامل نوع همخوان و بافت آوایی (واکدار و بیواک) به عنوان عوامل مستقل و پارامتر صوتی دیرش به عنوان عامل وابسته انتخاب شدند. نتایج در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵: خلاصه نتایج آزمون تحلیل واریانس برای محاسبه سطح معناداری اثر نوع همخوان و بافت آوایی بر دیرش همخوان‌های سایشی پایانی

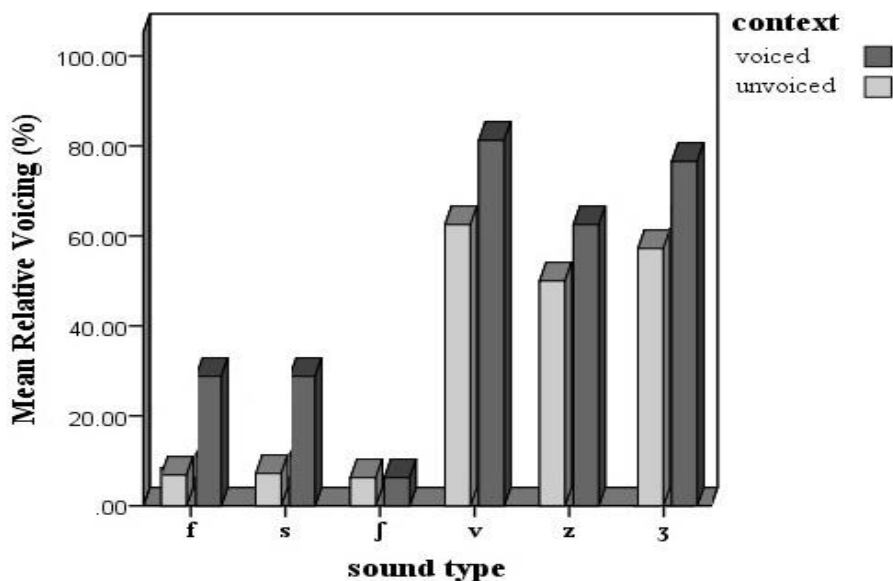
متغیر	درجه آزادی	میزان F	میزان p
نوع همخوان	۵	۸/۰۵	۰/۰۰۰
بافت آوایی	۱	۱۰/۰۹	۰/۰۰۰
نوع همخوان * بافت	۵	۹/۳۲	۰/۰۰۰

این جدول نشان می‌دهد که اثر نوع همخوان و بافت آوایی بر دیرش همخوان‌های سایشی معنادار است. همچنین اثر تعاملی دو عامل نوع همخوان و بافت آوایی معنادار است. معنادار بودن اثر تعاملی این دو عامل ناشی از تأثیر متفاوت بافت آوایی بر دیرش همخوان‌های سایشی واکدار و بیواک است به این صورت که سایشی‌های بیواک در بافت واکدار دیرش بیشتری نسبت به بافت بیواک دارند، در حالی که سایشی‌های واکدار در بافت واکدار دیرش کمتری نسبت به بافت بیواک دارند. نتایج آزمون‌های تعقیبی برنولی نشان داد که دیرش تمامی سایشی‌های بیواک در بافت واکدار به طرز معناداری از بافت بیواک بیشتر است. این نتایج همچنین نشان داد دیرش سایشی‌های واکدار /v/ و /z/ در بافت واکدار به طور معناداری از بافت بیواک کمتر است.

### ۵-۳-۲- واکداری- بیواکی

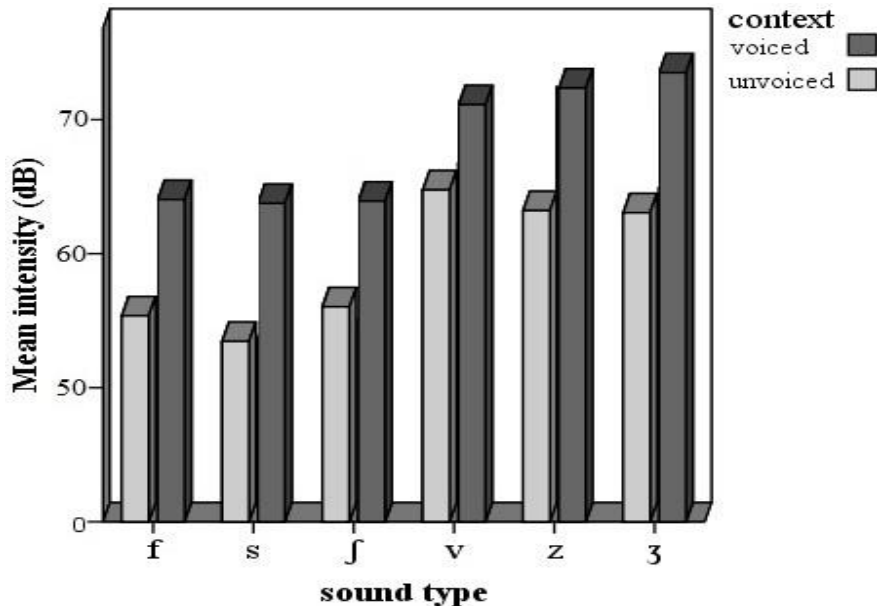
شکل ۱۲ فراوانی (بر حسب درصد) واکداری همخوان‌های سایشی را در جایگاه پایانی به صورت تابعی از بافت آوایی نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، بافت آوایی بر فراوانی واکداری همخوان‌های

سایشی تأثیرگذار است. درصد واکداری تمامی سایشی‌ها اعم از سایشی‌های واکدار و بیواک در بافت واکدار به‌طور قابل ملاحظه‌ای از بافت بیواک بیشتر است.



شکل ۱۲: فراوانی وقوع (بر حسب درصد) واکداری همخوان‌های سایشی در جایگاه پایانی

شکل ۱۳ میانگین شدت انرژی صافی فرکانسی ۰-۱۰۰۰ هرتز را برای همخوان‌های سایشی (که تظاهر آوایی واکدار داشته‌اند) در جایگاه پایانی به‌صورت تابعی از بافت آوایی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود متوسط شدت انرژی فرکانس‌های ۰-۱۰۰۰ هرتز برای سایشی‌های واکدار از سایشی‌های بیواکی که متأثر از عامل بافت آوایی به‌صورت واکدار تولید شده‌اند، به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر است. این شکل همچنین نشان می‌دهد که بافت آوایی در جایگاه پایانی، همچون جایگاه آغازی، تأثیر بسزایی بر شدت واکداری همخوان‌های سایشی دارد. میزان واکداری تمامی همخوان‌های سایشی در بافت واکدار نسبت به بافت بیواک به‌طور قابل توجهی بیشتر است.



شکل ۱۳: میانگین شدت انرژی صافی فرکانسی ۰-۱۰۰۰۰ هرتز برای سایشی‌هایی که در جایگاه پایانی به صورت واکنار تولید شده‌اند. میانگین مقادیر این پارامتر به تفکیک دو بافت آوایی واکنار و بیواک ارائه شده است.

نتایج یک آزمون تحلیل واریانس دو عامله نشان داد که نوع همخوان بر مقادیر شدت انرژی فرکانس‌های ۰-۱۰۰۰۰ هرتز تأثیر معنادار دارد ( $p < 0.001$ ). این نتایج همچنین نشان داد که اثر بافت آوایی بر مقادیر این پارامتر صوتی معنادار است ( $p < 0.001$ ) ولی اثر تعاملی این دو عامل بر مقادیر شدت انرژی فرکانس‌های ۰-۱۰۰۰۰ هرتز معنادار نیست ( $F < 1$ ).

## ۶- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی میزان قوت همخوان‌های سایشی واکنار و بیواک فارسی در بافت‌های آوایی و نوایی مختلف پرداختیم. تحلیل‌های صوتی در دو حوزه زمان و شدت انرژی موج صوتی انجام شد. دیرش همخوان‌های سایشی در حوزه زمان و دامنه انرژی فرکانس‌های پایین (۰-۱۰۰۰۰ هرتز) و فرکانس‌های میانی و بالا (بالا تر از ۱۸۰۰ هرتز) در حوزه شدت انرژی اندازه‌گیری شدند. مطابق با پیشینه مطالعات صوتی، فرض کردیم که دیرش بیشتر و شدت انرژی بیشتر در نواحی فرکانسی میانی و بالای طیف فرکانسی به معنای قوت بیشتر همخوان‌های سایشی و دیرش کمتر و شدت انرژی کمتر در همین نواحی فرکانسی به معنای کاهش یا تضعیف همخوان‌های سایشی است. همچنین حضور و عدم حضور انرژی در فرکانس‌های پایین را به ترتیب به معنای

واکدار بودن و بیواک بودن همخوان‌های سایشی در نظر گرفتیم و در صورت حضور انرژی در این ناحیه فرکانسی، شدت بیشتر انرژی را به معنای واکداری بیشتر و شدت کمتر انرژی را به معنای واکداری کمتر رمزگذاری کردیم.

نتایج نشان داد که دیرش همخوان‌های سایشی تا حد زیادی تابع بافت آوایی و موضع نوایی آنهاست. همخوان‌های سایشی در بافت آوایی واکدار و موضع بی‌تکیه دیرش کمتر و بالعکس در بافت بیواک و موضع تکیه‌بر دیرش بیشتری دارند. برای شدت انرژی فرکانسی میانی و بالا نیز نتایج مشابهی به دست آمد. این نتایج نشان داد دامنه انرژی فرکانس‌های بالاتر از ۱۸۰۰ هرتز در طیف فرکانسی همخوان‌های سایشی به بافت آوایی و موضع نوایی این همخوان‌ها حساسیت زیادی نشان می‌دهد طوری که شدت انرژی نواحی فرکانسی مورد نظر در موضع تکیه‌بر و بافت آوایی بیواک به‌طور معناداری از موضع بی‌تکیه و بافت واکدار بیشتر است. اگر به پیروی از لاووا (۲۰۰۱) الگوی توزیع مقادیر دیرش و نوفه رهش همخوان‌های گرفته را معیار ارزیابی میزان قوت همخوان‌های گرفته در نظر بگیریم، در آن صورت می‌توان گفت که سایشی‌ها در موضع تکیه‌بر و بافت آوایی بیواک میزان قوت خود را حفظ می‌کنند ولی در موضع بی‌تکیه و بافت واکدار از میزان قوت آنها کاسته می‌شود.

در تحلیل‌های صورت گرفته در حوزه واکداری-بیواکی به این نتیجه رسیدیم که بافت آوایی بر فراوانی واکداری همخوان‌های سایشی تا حد زیادی تأثیرگذار است به نحوی که درصد واکداری همخوان‌های سایشی در بافت واکدار از بافت بیواک به‌طور قابل توجهی بیشتر است. حتی سایشی‌های بیواک که در بافت بیواک فاقد هر اندازه فراوانی واکداری هستند در بافت واکدار تا حدودی (به‌طور متوسط ۲۰٪) به‌صورت واکدار تولید می‌شوند. اندازه‌گیری‌های مربوط به شدت انرژی فرکانس‌های پایین (۰-۱۰۰۰ هرتز) نشان داد که بافت آوایی بر شدت واکداری همخوان‌های سایشی تأثیر معنادار دارد به این صورت که میانگین شدت واکداری سایشی‌ها (اعم از سایشی‌های بیواکی که تظاهر آوایی واکدار داشته‌اند) در بافت واکدار نسبت به بافت بیواک بیشتر است. یافته مهم دیگری که در رابطه با شدت انرژی فرکانس‌های پایین به دست آمد این بود که اگرچه سایشی‌های بیواک گاه در اثر بافت آوایی به گونه واکدار تبدیل می‌شوند ولی شدت واکداری آنها به‌طور قابل توجهی از سایشی‌های واکدار کمتر است. این تفاوت می‌تواند ناشی از تفاوت‌های تولیدی-آیرودینامیکی سایشی‌های واکدار و بیواک باشد که در بخش ۲ بدان پرداخته شد. از سوی دیگر، بررسی اثر عامل تکیه بر شدت انرژی فرکانس‌های پایین نشان داد که تکیه قادر نیست به‌طور نظام‌مند مقادیر این پارامتر صوتی را تغییر دهد. بر این اساس درحالی‌که مقادیر دیرش و شدت نوفه سایش (شدت انرژی فرکانس‌های میانی و بالا) همخوان‌های سایشی به‌صورت تابعی از عامل تکیه تا حد زیادی تغییر می‌کند، مقادیر شدت انرژی فرکانس‌های پایین (همبسته صوتی شدت واکداری) به موضع نوایی همخوان‌های سایشی حساسیت چندانی نشان نمی‌دهد. مقایسه‌های بین‌جایگاهی همخوان‌های سایشی از حیث فراوانی و شدت واکداری نیز نشان داد که همخوان‌های سایشی در جایگاه بین‌واکه‌ای فراوانی واکداری و شدت واکداری بیشتری نسبت به جایگاه‌های آغازی و پایانی کلمه دارند.



نتایج این پژوهش با یافته‌های به‌دست آمده از زبان‌های دیگر مطابقت دارد. یافته‌های زبان گذر (ودل<sup>۱</sup>، ۲۰۱۲؛ ودل، کاپلان<sup>۲</sup> و جکسون<sup>۳</sup>، ۲۰۱۳؛ بواوچیت و دیویدسون، ۲۰۱۳ برای زبان انگلیسی؛ توریرا و ارنستوس، ۲۰۱۲؛ هاولده و پریتو، ۲۰۱۴ برای زبان اسپانیایی و کاتالان؛ هاولده و نادو<sup>۴</sup>، ۲۰۱۱ برای ایتالیایی؛ پلوی میکروز<sup>۵</sup>، ارنستوس و باین<sup>۶</sup>، ۲۰۰۵ برای هلندی) نشان داده‌اند که میزان قوت همخوان‌های گرفته‌تابع سه عامل تکیه، بافت آوایی و جایگاه نوایی است. میزان قوت همخوان گرفته‌تابع در موضع تکیه‌بر بیشتر از موضع بی‌تکیه است؛ در مجاورت واکه‌ها، همخوان‌های رسا یا همخوان‌های واگذار از میزان قوت آواهای گرفته‌کاسته می‌شود؛ و بالاخره این که احتمال تضعیف همخوان‌های گرفته‌تابع در جایگاه بین‌واکه‌ای از دو جایگاه کناری کلمه یعنی جایگاه آغازی و پایانی به مراتب بیشتر است.

## منابع

- اسدی، هما؛ حسینی کیونانی، نینا و نوربخش، ماندانا (۱۳۹۴). بررسی تأثیر پوشش صورت بر ویژگی‌های آکوستیکی سایشی‌های بیواک زبان فارسی: پژوهشی در چارچوب آواشناسی قضایی. زبان‌شناسی و گویش‌های خراسان. سال هفتم. ش. ۱۳.
- اسدی، هما؛ نوربخش، ماندانا و ساسانی، فرهاد (۱۳۹۸). تفاوت‌های بین-گوینده در سایشی‌های بیواک زبان فارسی. جستارهای زبانی. دوره دهم. ش. ۱، پیاپی. ۴۹، صص. ۱۲۹-۱۴۷.
- رحیمی، مریم (۱۳۹۲). بررسی صوت‌شناختی واکداری در همخوان‌های سایشی زبان فارسی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده زبان‌های خارجی، دانشگاه اصفهان.
- Bouavichith, D., & Davidson, L. (2013). Segmental and prosodic effects on intervocalic voiced stop reduction in connected speech. *Phonetica* 70, 182–206.
- Ertmer, D. J., Goffman, L. A. (2011). Speech production accuracy and variability in young cochlear implant recipients: Comparisons with typically developing age-peers. *Journal of Speech Language and Hearing*.
- Hualde, J. & Prieto, P. (2014). Lenition of Intervocalic Alveolar Fricatives in Catalan and Spanish. *Phonetica* 71, 2, 109-127.
- Hualde, J. I., Nadeu, M. (2011). Lenition and phonemic overlap in Rome Italian. *Phonetica* 68, 215–242.
- Jongman, A., Wayland, R., & Wong S. (2000). Acoustic characteristics of English fricatives, *Journal of Acoustical Society of America* 108(3), 1252–1263.
- Kirchner, R. (1998). *An effort-based approach to consonant lenition*. London: Routledge.

1. Wedel
2. Kaplan
3. Jackson
4. Nadeu
5. Pluymaekers
6. Baayen

- Ladefoged, P. & Johnson, K. (2011). *A course in phonetics* (6<sup>th</sup> edition). Boston:
- Lavoie, L. M. (2001). *Consonant strength: phonological patterns and phonetic manifestations*, London: Routledge.
- Lehiste, J. (1960). Duration of syllable nuclei in English. *Journal of the Acoustical Society of America* 32, 693-703.
- Mi-young, L. W., & Lederberg, A. R. (2014). Measuring phonological awareness in deaf and hard-of-hearing children. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*.
- Peterson, G. E., & Lehiste, I. (1960). Duration of syllable Nuclei in English. *Journal of the Acoustical Society of America*, 32(6), 693–703.
- Pluymaekers, M., Ernestus, M., & Baayen, R. H. (2005). Lexical frequency and acoustic reduction in spoken Dutch. *Journal of the Acoustical Society of America* 118: 2561–2569.
- Reidy, P. F. (2015). *The spectral dynamics of voiceless sibilant fricatives in English and Japanese*, Doctoral dissertation, The Ohio State University.
- Reidy, P. F., Kristensen, K., Winn, M. B., Litovsky, R. Y., & Edwards, J. R. (2017). The acoustics of word-initial fricatives and their effect on word-level intelligibility in children with bilateral cochlear implants. *Ear and hearing*, 38(1), 42.
- Stevens, K. N. (2000). *Acoustic phonetics* (Vol. 30). MIT press.
- Todd, A. E., Edwards, J. R., & Litovsky, R. Y. (2011). Production of contrast between sibilant fricatives by children with cochlear implants. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 130(6), 3969-3979.
- Torreira, F., & Ernestus, M. (2012). Weakening of intervocalic/s/in the Nijmegen Corpus of Casual Spanish. *Phonetica*, 69(3), 124-148.
- Wadsworth/Cengage Learning.
- Wedel, A. (2012). Lexical contrast maintenance and the organization of sublexical contrast systems. *Language and Cognition*, 4(4), 319-355.
- Wedel, A., Kaplan, A., & Jackson, S. (2013). High functional load inhibits phonological contrast loss: A corpus study. *Cognition*, 128(2), 179-186.