



دوماهنامه علمی - پژوهشی

د ۱۰، ش ۱ (پیاپی ۴۹)، فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۸، صص ۱۲۹-۱۴۷

## تفاوت‌های بین-گوینده در سایشی‌های

### بی‌واک زبان فارسی

هما اسدی<sup>۱</sup>، ماندانا نوربخش<sup>۲</sup>، فرهاد ساسانی<sup>۳</sup>

۱. دکتری گروه زبان‌شناسی، دانشکده ادبیات، تاریخ و زبان‌ها، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران.

۲. دانشیار گروه زبان‌شناسی، دانشکده ادبیات، تاریخ و زبان‌ها، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران.

۳. دانشیار گروه زبان‌شناسی، دانشکده ادبیات، تاریخ و زبان‌ها، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران.

پذیرش: ۹۶/۱۰/۳۰

دریافت: ۹۶/۷/۴

### چکیده

پژوهش حاضر در چارچوب آواشناسی آزمایشگاهی به بررسی پارامترهای آکوستیکی بالقوه تمایزدهنده میان افراد متفاوت در همخوان‌های سایشی بی‌واک زبان فارسی می‌پردازد. از این روی، هم-بسته‌های آکوستیکی دیرش و مرکز تجمع انرژی در سایشی‌های بی‌واک /f, s, ʃ, x/ در زبان فارسی مورد بررسی قرار می‌گیرد. این پژوهش به دنبال آن است تا کشف کند آیا همخوان‌های سایشی بی‌واک مورد بررسی و پارامترهای آکوستیکی مدنظر که در این پژوهش بررسی می‌شوند، دارای خصیصه‌های فردویژه هستند یا خیر؟ و آیا این همخوان‌ها و پارامترهای آکوستیکی می‌توانند به تشخیص و تمایز افراد متفاوت در زبان فارسی کمک کنند؟ به این منظور، صدای ۲۴ گویشور فارسی‌زبان (۱۲ مرد، ۱۲ زن) در محیط آزمایشگاهی و در دو نوبت مجزا به فاصله یک تا دو هفته ضبط شد. نمونه‌های آوایی با استفاده از برنامه پرات (PRAAT) ویرایش ۳.۴.۲، ۵ مورد تجزیه و تحلیل آکوستیکی قرار گرفت و تحلیل آماری داده‌ها و مقادیر به‌دست‌آمده از بررسی آکوستیکی نمونه‌های آوایی با استفاده از نرم‌افزار اس.پی.اس.اس (SPSS) ویرایش ۲۱/۰ و نرم افزار آر (R) ویرایش ۳.۳.۳ صورت گرفت. تحلیل داده‌ها نشان داد پارامتر آکوستیکی مرکز تجمع انرژی /s/ و /ʃ/ در گروه زنان و مرکز تجمع انرژی /s/ در گروه مردان بهترین پارامترهای تمایزدهنده میان افراد فارسی‌زبان بوده‌اند؛ در حالی که دیرش پارامتر آکوستیکی مناسبی در تشخیص هویت افراد گزارش نشده است.

واژه‌های کلیدی: آواشناسی آزمایشگاهی، سایشی‌های بی‌واک، دیرش، مرکز تجمع انرژی.

E-mail: h.asadi@alzahra.ac.ir

\* نویسنده مسئول مقاله:

## ۱. مقدمه

در علم آواشناسی قضائی<sup>۱</sup> جست‌وجو و کشف پارامترهای آکوستیکی تمایزدهنده میان صدای افراد بسیار اهمیت دارد. در آواشناسی قضائی به‌ویژه هنگام مقایسه گویندگان به‌لحاظ قضائی، صداهای افراد مختلف با هم مقایسه می‌شوند. هدف این است که شواهد مبین با توجه به شباهت‌ها و تفاوت‌های موجود میان نمونه‌های آوایی به دادگاه ارائه شود و به این فرض پاسخ داده شود که چقدر این احتمال وجود دارد که صدای خاصی از آن یک فرد واحد است و یا اینکه فرد دیگری آن صدا را تولید کرده باشد. یکی از راه‌های رسیدن به این هدف، بررسی پارامترهایی است که حاوی اطلاعات آوایی فردی‌تر هستند. بهترین پارامترهای آوایی تمایزدهنده آن دسته از پارامترها هستند که شامل بیشترین تغییرات بین -گوینده<sup>۲</sup> و کمترین تغییرات درون -گوینده<sup>۳</sup> باشند (Rose, 2002:24). به عبارت دیگر، پارامترهای آوایی که افراد مختلف یک زبان خاص را به بهترین نحو از هم متمایز می‌سازد و در عین حال کمترین میزان تغییر را درون یک گوینده واحد نشان می‌دهد.

پژوهش حاضر در همین راستا در صدد یافتن و بررسی پارامترهای آکوستیکی تمایزدهنده میان افراد در زبان فارسی است. بدین منظور، هم‌بسته‌های آکوستیکی دیرش<sup>۴</sup> و مرکز تجمع انرژی<sup>۵</sup> در سایشی‌های بی‌واک زبان فارسی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. سایشی‌ها آوایی هستند که منبع تولید آن‌ها در حالت بی‌واک نطفه سفید است. منبع سایشی‌ها نطفه اغتشاشی است که در اثر ایجاد معبر تنگ در نقطه‌ای از دستگاه گفتار به وجود می‌آید (بی‌جن‌خان، ۲۸۳: ۱۳۹۲). در تولید سایشی‌ها ابعاد حفره بازخوانی، محل و میزان گرفتگی، شکل بدنه زبان و نحوه حرکت آن اهمیت دارد. همچنین در تولید سایشی‌ها، توزیع انرژی در طیف بستگی به شکل و اندازه حفره‌های بازخوانی در جلو محل گرفتگی است (Jongman et al., 2000:1253). بنابراین، هرگونه تغییر در محل و طول گرفتگی موجب تغییر در اندازه و شکل حفره‌های پشت و جلو محل گرفتگی می‌شود که این امر خود به تغییر در مقادیر مشخصه‌های آکوستیکی منجر می‌شود (Stuart-Smith, 2007:67). از این رو، انتظار می‌رود این تغییرات فیزیکی سبب تغییرات بسیاری در ویژگی‌های آکوستیکی همخوان‌های سایشی شود. لدفوگد<sup>۶</sup> و مدیسون<sup>۷</sup> (1996:139) اظهار می‌کنند ساختار آکوستیکی سایشی‌ها از

فردی به فرد دیگر متمایز است. بدین ترتیب، پرسش‌های زیر در این پژوهش مطرح می‌شوند:

۱) آیا پارامترهای آکوستیکی مرکز تجمع انرژی و دیرش در سایشی‌های بی‌واک زبان فارسی بالقوگی تمایز میان افراد را دارند؟

و اگر پاسخ آری باشد پرسش بعدی مطرح می‌شود

۲) کدام پارامتر آکوستیکی و کدام همخوان سایشی تغییرات بین - گوینده را بیشتر نشان می‌دهد؟

انتخاب سایشی‌ها به‌ویژه سایشی‌های بی‌واک /f, s, ʃ, x/ بنا بر چند دلیل بوده است. دلیل اول که برای این انتخاب وجود دارد مربوط به کاربرد سایشی‌ها در پژوهش‌های مربوط به علوم قضائی گفتار است. پیش‌تر نیز اشاره کردیم که آواشناسان قضایی بر ویژگی تمایزدهنده سایشی‌ها در افراد تأکید می‌کنند و هیوارد<sup>۱</sup> (2000) نیز اشاره می‌کند طیف سایشی‌ها از یک گوینده به گوینده‌ای دیگر فرق دارد. پژوهش‌های انجام‌شده درباره اهمیت سایشی‌ها در تشخیص هویت گوینده (Kavanagh, 2013; Haley, 2010; اسدی و همکاران: ۱۳۹۴) این امر را تأیید می‌کند. همچنین پژوهش‌های پیشین انجام‌شده در باب درک سایشی‌ها (Wang & Bilger, 1973; Woods et al., 2010; Phatak & Allen, 2007; Weber & Smits, 2003) نشان داده است که افراد هنگام درک سایشی‌ها بیشتر از سایر آواها دچار خطا می‌شوند. گلد<sup>۲</sup> و فرنچ<sup>۳</sup> (2011) در پژوهش خود به ارزیابی بسامد بررسی همخوان‌ها و واکه‌ها توسط آواشناسان قضائی پرداختند. نتایج پژوهش آنان نشان داد سایشی‌ها از میان سایر همخوان‌ها بیشترین توجه را میان آواشناسان قضائی به خود جلب کرده‌اند. دلیل دیگر انتخاب سایشی‌ها به‌ویژه سایشی‌های بی‌واک مورد بررسی در این پژوهش یعنی /f, s, ʃ, x/ ساختار آکوستیکی متمایز این دسته و توزیع انرژی آن‌هاست. توزیع انرژی در فرکانس‌های بالای طیف آکوستیکی آن‌ها معمولاً در افراد تمایزدهنده است.

## ۲. پیشینه پژوهش

اگرچه سایشی‌ها نسبت به سایر همخوان‌ها بیشتر مدنظر آواشناسان قضائی بوده‌اند؛ اما هرگز به اندازه واکه‌ها بررسی نشده‌اند. بیشتر مطالعات آواشناسی قضائی بر سازه‌های واکه‌ها

تمرکز کرده‌اند و آن‌گونه که باید به اهمیت سایشی‌ها پرداخته نشده است. در این‌جا به پاره‌ای از پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه می‌پردازیم.

کافی<sup>۱۱</sup> و بلاچ<sup>۱۲</sup> (2017) در پژوهش خود به بررسی همخوان سایشی بی‌واک /ʃ/ در گویشوران انگلیسی‌زبان مینسوتای مرکزی<sup>۱۳</sup> پرداخته‌اند. آن‌ها به دنبال این امر مهم بودند تا دریابند تولید آوای /ʃ/ در گویشوران مینسوتای مرکزی چقدر به گویش‌های دیگر انگلیسی - امریکایی نزدیک است و چقدر با آن‌ها تفاوت دارد؟ هم‌بسته‌های آکوستیکی مرکز تجمع انرژي، سازهٔ دوم، دیرش و شدت انتخاب شدند. نتایج حاکی از مؤثر بودن پارامترهای یادشده در تشخیص هویت گوینده است.

یونیواسو<sup>۱۴</sup> (2014) در پژوهش خود به بررسی میزان بالقوگی همخوان سایشی بی‌واک /s/ در لهجهٔ آرژانتینی زبان اسپانیایی پرداخته است. وی در پژوهش خود چهار پارامتر آکوستیکی سازهٔ اول، سازهٔ دوم، شدت و مرکز تجمع انرژي را مدنظر قرار داده است. نتایج یافته‌های وی حاکی از اهمیت همخوان سایشی بی‌واک /s/ و نیز پارامترهای یادشده در علم آواشناسی قضائی است.

کاوناک (2012) نیز در پژوهش خود به بررسی چند پارامتر آکوستیکی از جمله دیرش، انحراف معیار<sup>۱۵</sup> و مرکز تجمع انرژي در همخوان سایشی بی‌واک /s/ پرداخته است. نتایج حاصل از پژوهش وی نشان داد که مرکز تجمع انرژي و انحراف معیار در همخوان سایشی بی‌واک /s/ می‌توانند از جمله پارامترهای آکوستیکی سودمند در آواشناسی قضائی به شمار بروند.

گوردون<sup>۱۶</sup> و همکاران (2002) با اتخاذ رویکرد آکوستیکی در پژوهش خود به مطالعه و بررسی سایشی‌های بی‌واک در هفت زبان در خطر انقراض پرداختند. آن‌ها سه پارامتر آکوستیکی دیرش، مرکز تجمع انرژي و میانگین قلهٔ طیفی در سایشی‌های بی‌واک را اندازه‌گیری کردند. در این پژوهش، افزون بر بررسی سرنخ‌های صوتی جایگاه تولید در سایشی‌های بی‌واک زبان‌های مورد بررسی، گویشوران نیز به‌طور مستقل مدنظر قرار داده شدند و میزان تغییرات بین - گوینده در همخوان‌های سایشی این زبان‌ها نیز بررسی شد. گزارش نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که هم تغییرات بین - زبانی و هم تغییرات بین-گوینده به‌طور قابل ملاحظه‌ای در ساختار طیفی همخوان /s/ و همخوان‌های سایشی

کناری در زبان‌های مورد بررسی وجود دارد.

در زبان فارسی در زمینه تشخیصی هویت گوینده پژوهش‌های اندکی انجام شده است. نامور فرگی (۱۳۹۲) در مقاله خود به بررسی امکان استفاده از نمودارهای طیف‌نگاشتی لگاریتمی واکه‌ها به عنوان یکی از کلیدهای شناسایی گوینده می‌پردازد. وی پژوهش خود را روی ۱۰ گوینده زن و مرد انجام داد و به این نتیجه رسید که نمودار طیف‌نگاشتی واکه‌ها می‌تواند به عنوان یکی از کلیدهای کارآمد با درصد اطمینان بالا در فعالیت‌های مربوط به شناسایی گوینده، کاربرد داشته باشد. اسدی و همکاران (۱۳۹۴) نیز در پژوهش خود چهار پارامتر آکوستیکی فرکانس سازه دوم خیشومی /n/، فرکانس سازه دوم کناری /l/ و مرکز تجمع انرژی /s/ و زیروبمی<sup>۱۷</sup> را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنان نشان داد که فرکانس پایه /n/ و /l/ و نیز مرکز تجمع انرژی /s/ می‌توانند معیار مناسبی برای تشخیص هویت گوینده باشند؛ در حالی که فرکانس سازه دوم خیشومی /n/ و فرکانس سازه دوم کناری /l/ معیارهای کارآمدی در تشخیص هویت گوینده نیستند.

### ۳. روش‌شناسی پژوهش

در این بخش اطلاعات مربوط به شرکت‌کنندگان، داده‌های آوایی و شیوه ضبط داده‌ها ارائه خواهد شد.

#### ۳-۱. شرکت‌کنندگان و داده‌های آوایی

به منظور کشف پارامترهای آکوستیکی تمایزدهنده میان گویشوران فارسی‌زبان، پیکره‌ای آوایی در اتاق آکوستیک دانشگاه الزهرا واقع در آزمایشگاه چندرسانه‌ای ضبط شد. در این پیکره آوایی صدای ۲۴ گویشور فارسی زبان (۱۲ مرد، ۱۲ زن) در محدوده سنی ۲۲ تا ۳۵ سال در دو جلسه مجزا ضبط شد. هر یک از گویشوران تعداد ۵۴ جمله فارسی را در دو جلسه جداگانه به فاصله یک تا دو هفته تولید کردند. در مجموع تعداد ۲۵۹۲ (۲۵۹۲ = ۲ تکرار × ۵۴ جمله × ۲۴ گویشور) نمونه آوایی به دست آمد. سایشی‌های بی‌واک در جایگاه آغازین و پایانی هجا از این پیکره استخراج شد و مورد تجزیه و تحلیل آکوستیکی قرار گرفتند.

## ۲-۳ شیوه ضبط داده‌ها

داده‌ها در اتاقک آکوستیک دانشگاه الزهرا ضبط شد. صدای آزمودنی‌ها با استفاده از میکروفون رولاند ۴۴۱۰۰ هرتز ضبط شد. میکروفون به‌صورت مورب و به فاصله ۲۰ سانتی‌متری از دهان شرکت‌کنندگان قرار گرفت. از آن‌ها درخواست شد که جمله‌ها را بدون آهنگ نشان‌دار به صورت طبیعی و با مکثی حدود ۳ ثانیه میان هر جمله تولید کنند. پارامترهای آکوستیکی مرکز تجمع انرژی و دیرش سایشی‌ها برای تحلیل انتخاب شد. نمونه‌های آوایی با استفاده از برنامه پرات (PRAAT) ویرایش ۳۴، ۲، ۵ مورد تجزیه و تحلیل آکوستیکی قرار گرفت. در این پژوهش مقادیر به‌دست‌آمده از سایشی‌های بی‌واک با توجه به برنامه اندازه‌گیری خودکار اندازه‌گیری شده است. تحلیل آماری داده‌ها و مقادیر به‌دست‌آمده از بررسی آکوستیکی نمونه‌های آوایی با استفاده از نرم‌افزار اس.پی.اس.اس (SPSS) ویرایش ۲۷/۰ و نرم‌افزار آر (R) ویرایش ۳.۳.۳ صورت گرفت.

## ۴. گزارش نتایج

در این بخش نتایج حاصل از تحلیل داده‌های آوایی گزارش خواهد شد. ابتدا تعامل میان متغیرهای مستقل گوینده، جنسیت، تکرار و نوع سایشی بی‌واک را بررسی می‌کنیم، سپس به منظور پاسخ‌دهی به پرسش‌های مطرح در این پژوهش به بررسی اثر دو متغیر وابسته یعنی دو پارامتر آکوستیکی مرکز تجمع انرژی و دیرش در میان گویندگان زن و مرد فارسی‌زبان می‌پردازیم.

### ۴-۱. بررسی تعامل میان متغیرهای مستقل پژوهش

ابتدا با در نظر گرفتن داده‌های کل پیکره آوایی، تعامل میان گوینده × تکرار، جنسیت × نوع سایشی و گوینده × نوع سایشی بررسی شد. داده‌های آوایی با استفاده از مدل خطی اثرمخلوط<sup>۱۸</sup> و با کمک نرم‌افزار آر (R) و پکیج lme4 انجام شد. گوینده، جنسیت و تکرار به-عنوان اثر ثابت<sup>۱۹</sup> و جمله به‌عنوان اثر تصادفی<sup>۲۰</sup> مدنظر قرار داده شد. اثر ثابت و تصادفی با مقایسه میان مدل کامل<sup>۲۱</sup> و مدل کاهش‌یافته<sup>۲۲</sup> مورد آزمایش قرار گرفتند. در مدل کامل، اثر

عامل مورد آزمودنی حضور دارد؛ در حالی که این اثر در مدل کاهش یافته از مدل خارج می شود. نتایج نشان داد برای پارامتر آکوستیکی مرکز تجمع انرژی، میان گوینده و تکرار رابطه‌ای وجود ندارد ( $X^2=1/2243$  ,  $p=0/26$ )، در حالی که میان دو متغیر گوینده و نوع سایشی ( $X^2=238/61$  ,  $p < 0.0001$ ) و جنسیت و نوع سایشی ( $X^2=261/81$  ,  $p < 0.0001$ ) تعامل معنادار وجود دارد. همچنین، نتایج آماری مربوط به بررسی پارامتر آکوستیکی دیرش نشان داد که میان گوینده و تکرار رابطه‌ای وجود ندارد ( $X^2=2/152$  ,  $p = 0/1424$ )، در حالی که میان دو متغیر گوینده و نوع سایشی ( $X^2=32/242$  ,  $p < 0.0001$ ) و جنسیت و نوع سایشی ( $X^2=43/61$  ,  $p < 0.0001$ ) تعامل معنادار وجود دارد. با توجه به اثرگذار بودن متغیر جنسیت، گوینده‌های زن و مرد برای هر همخوان سایشی به‌طور مجزا بررسی شدند. بدین ترتیب اثر متغیر جنسیت بر مرکز تجمع انرژی و دیرش هر چهار همخوان سایشی بی‌واک مورد بررسی قرار گرفت تا مشخص شود این متغیر بر کدام همخوان تأثیر می‌گذارد.

نتایج نشان داد اثر متغیر جنسیت بر مرکز تجمع انرژی همخوان /s/ ( $p < 0.0001$ ) ، همخوان /j/ ( $X^2=651/79$  ,  $p < 0.0001$ ) و همخوان /x/ ( $p < 0.0001$ ) ، معنادار است؛ در حالی که اثر متغیر جنسیت بر مرکز تجمع انرژی همخوان /f/ معنادار ( $X^2=0/1405$  ,  $p=0/7077$ ) نیست.

نتایج همچنین حاکی از آن است که اثر متغیر جنسیت بر دیرش همخوان /s/ ( $p < 0.0001$ ) ، همخوان /j/ ( $X^2=12/202$  ,  $p < 0.0001$ ) و همخوان /x/ ( $X^2=6/764$  ,  $p < 0.0001$ ) ، معنادار است؛ در حالی که اثر متغیر جنسیت بر دیرش همخوان /f/ معنادار ( $X^2=22/316$  ,  $p=0/8674$ ) نیست.

این نتایج به لحاظ مرکز تجمع انرژی همسو با یافته‌های فاکس<sup>۳۳</sup> و نیسن<sup>۲۴</sup> (2005) است؛ در حالی که از نظر دیرش سایشی‌ها نتایج متفاوتی حاصل شده است. فاکس و نیسن (2005) در پژوهش خود بر تأثیر متغیر جنسیت بر مرکز تجمع انرژی همخوان‌های سایشی بی‌واک /s/ و /j/ در زبان انگلیسی اذعان داشته‌اند. در حالی که در پژوهش آن‌ها متغیر جنسیت بر مرکز تجمع انرژی همخوان سایشی /f/ تأثیرگذار نبوده است. خلاف نتایج پژوهش حاضر، در پژوهش فاکس و نیسن متغیر جنسیت بر دیرش همخوان‌های سایشی بی‌واک زبان انگلیسی تأثیرگذار نبوده است؛ در حالی که در پژوهش حاضر، این متغیر تنها بر همخوان سایشی /f/ تأثیری نداشته است.

#### ۴-۲. مرکز تجمع انرژی

مرکز تجمع انرژی یا COG بسامدی است که طیف انرژی را به دو بخش تقسیم می‌کند؛ به طوری که میزان انرژی فرکانس‌های بالا با میزان انرژی فرکانس‌های پایین برابر شود. این پارامتر از طیف سایش استخراج می‌شود و واحد آن هرتز (Hz) است. جدول ۱ گزارش آمار توصیفی مربوط به مشخصه آوایی مرکز تجمع انرژی را در دو گروه گویشوران مرد و زن ارائه می‌دهد.

جدول ۱: میانگین و انحراف معیار مرکز تجمع انرژی (COG) همخوان‌های سایشی بی‌واک زبان

فارسی در دو گروه مردان و زنان (برحسب Hz)

**Table 1:** Mean and standard deviation of COG of voiceless fricatives in male and female Persian speakers (Hz)

| زن                |                   | مرد               |                   | مرکز تجمع انرژی |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| تکرار دوم         | تکرار اول         | تکرار دوم         | تکرار اول         |                 |
| ۸۱۴۴<br>(۱۶۴۱/۵۶) | ۸۱۱۵<br>(۱۵۹۶/۵۸) | ۵۷۲۰<br>(۱۷۱۳/۸۹) | ۵۵۹۵<br>(۱۷۸۲/۱۵) | /s/             |
| ۴۳۱۰<br>(۸۵۵/۶۹)  | ۴۳۰۸<br>(۸۱۴/۴۶)  | ۳۲۹۵<br>(۸۶۶/۴۷)  | ۳۲۰۶<br>(۱۰۵۲/۳۵) | /ʃ/             |
| ۲۱۱۱<br>(۱۵۴۳/۸۳) | ۲۱۵۴<br>(۱۴۱۱/۳۳) | ۱۹۲۸<br>(۱۷۶۲/۵۱) | ۱۶۶۷<br>(۱۴۹۸/۴۷) | /t/             |
| ۱۴۸۸<br>(۷۸۸/۶۸)  | ۱۴۵۴<br>(۷۴۸/۴۷)  | ۱۰۵۹<br>(۶۸۰/۱۸)  | ۱۰۱۷<br>(۶۹۸/۱۸)  | /x/             |

\* میانگین عدد بالا و انحراف معیار عدد پایین است.

مقایسه میانگین‌های مربوط به مرکز تجمع انرژی در دو گروه زنان و مردان نشان می‌دهد بیشترین میزان میانگین مرکز تجمع انرژی مربوط به همخوان /s/ و کمترین میزان مربوط به همخوان /x/ است. همچنین مشاهده می‌شود که مرکز تجمع انرژی در گویندگان زن نسبت به گویندگان مرد در همه سایشی‌های بی‌واک مورد بررسی، میزان بالاتری دارد.



در گام بعد به منظور بررسی تغییرات بین - گوینده در پیکره آوایی موردبررسی، اثر ثابت گوینده با استفاده از مدل خطی اثرمخلوط با کمک نرم‌افزار آر (R) بررسی شد. گوینده به‌عنوان اثر ثابت و جمله به‌عنوان اثر تصادفی در نظر گرفته شد. در مدل کامل عامل آزمودنی یا به‌عنوان اثر ثابت یا اثر تصادفی وارد مدل می‌شود. کد R استفاده‌شده برای مدل کامل در این پژوهش به این شرح است:

Model-full(lmer(dependent-variable~fixed-factor + (1|random-factor), data=data)

در مدل کاهش‌یافته، عامل آزمودنی از مدل خارج می‌شود. کد R استفاده‌شده برای مدل کاهش‌یافته در این پژوهش به این شرح است:

Model-full(lmer(dependent-variable + (1|random-factor), data=data)

ارزش p نیز با مقایسه دو مدل از طریق آنوا محاسبه شد (anova=anova(model-full, model-reduced).

جدول ۲ نتایج مربوط به اجرای مدل خطی اثرمخلوط در بررسی تغییرات مرکز تجمع انرژی در گویندگان مرد و جدول ۳ نتایج مربوط به اجرای مدل خطی اثرمخلوط در بررسی تغییرات مرکز تجمع انرژی در گویندگان زن را ارائه می‌دهد. در این جدول‌ها، مقدار  $\chi^2$  دو، ارزش P و معیار اطلاعات آکائیک (AIC) گزارش شده است.

جدول ۲: نتایج مربوط به آنالیز مدل خطی اثرمخلوط در بررسی تغییرات بین - گوینده مرکز تجمع انرژی در گروه گویندگان مرد

**Table 2:** Results of mixed-effect model for between-speaker variability of COG in male Persian speakers

| عامل آزمودنی | آزمون | AIC   | P        | $\chi^2(df)$ | مرکز تجمع انرژی |
|--------------|-------|-------|----------|--------------|-----------------|
| گوینده       | LME   | ۱۹۸۴۸ | < ۰.۰۰۰۱ | ۳۶۹۱۱ (۱)    | /s/             |
| گوینده       | LME   | ۱۲۳۲۷ | =/۱۹۰۱   | ۱/۷۱۶ (۱)    | /ʃ/             |
| گوینده       | LME   | ۵۴۷۱  | < ۰.۰۰۰۱ | ۹/۷۵۴ (۱)    | /f/             |
| گوینده       | LME   | ۶۰۵۴  | =/۵۳۸۹   | ۰/۳۷۶(۱)     | /x/             |

\*سطح معناداری: ۰/۰۱۲۵

جدول ۳: نتایج مربوط به آنالیز مدل خطی اثر مخلوط در بررسی تغییرات بین - گوینده مرکز تجمع انرژي در گروه گویندگان زن

**Table 3:** Results of mixed-effect model for between-speaker variability of COG in female Persian speakers

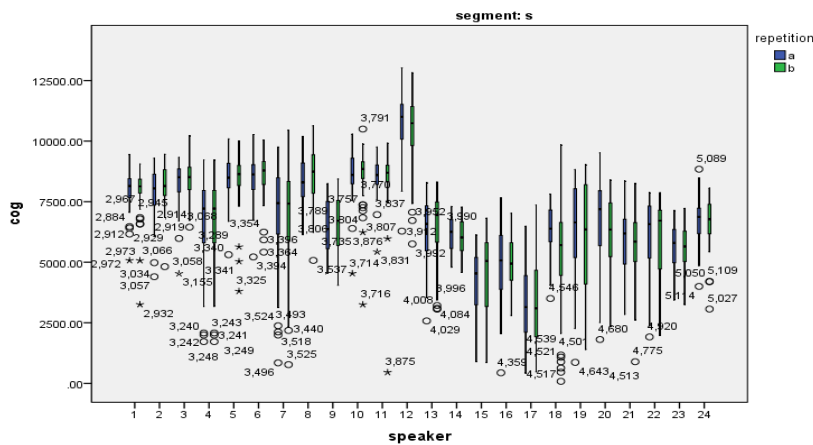
| عامل آزمودنی | آزمون | AIC   | P        | X <sup>2</sup> (df) | مرکز تجمع انرژي |
|--------------|-------|-------|----------|---------------------|-----------------|
| گوینده       | LME   | ۱۹۴۹۹ | < ۰.۰۰۰۱ | ۶۹/۲۵۷ (۱)          | /s/             |
| گوینده       | LME   | ۱۲۲۰۸ | < ۰.۰۰۰۱ | ۵۸/۳۷۴ (۱)          | /ʃ/             |
| گوینده       | LME   | ۵۳۷۲  | =.۱۴۵۸   | ۲/۱۱۶۱ (۱)          | /f/             |
| گوینده       | LME   | ۶۰۳۵  | =.۲۸۶۵   | ۱/۱۳۵۸ (۱)          | /x/             |

\*سطح معناداری: ۰/۰۱۲۵

نتایج جدول‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد مرکز تجمع انرژي در همخوان‌های سایشی /s/ و /f/ برای گویندگان مرد معنادار بوده است؛ در حالی که این اثر برای همخوان‌های /ʃ/ و /x/ معنادار نبوده است. همچنین، اثر گوینده برای مرکز تجمع انرژي در /s/ و /ʃ/ برای گویندگان زن معنادار بوده است؛ در حالی که این اثر برای همخوان‌های سایشی /f/ و /x/ در گروه زنان معنادار گزارش نشده است. مرکز تجمع انرژي برای همخوان سایشی /s/ در هر دو گروه گویندگان را متمایز کرده است. این نتیجه در رابطه با همخوان /s/ همسو با یافته‌های کاوناگ (2013) و گوردون (2002) است. آن‌ها نیز در پژوهش خود بر اهمیت سایشی /s/ و نیز پارامتر آکوستیکی مرکز تجمع انرژي در زبان‌های مورد بررسی‌شان تأکید کرده‌اند.

مرکز تجمع انرژي در سایشی بی‌واک /s/ افزون بر متمایز ساختن دو گروه زن و مرد برحسب جنسیت، توانسته است به‌عنوان یک پارامتر آکوستیکی گویندگان فارسی‌زبان زن و مرد را نیز از هم تشخیص دهد. تفاوت‌های جنسیتی در ویژگی‌های آکوستیکی آواها می‌تواند مربوط به تفاوت‌های فیزیولوژیکی میان اندام‌های گویایی زنان و مردان باشد؛ اما چرا همخوان /s/ در هر دو گروه بیشتر توانسته است گویندگان را از هم متمایز سازد؟ اندازه و شکل دستگاه گفتار، نحوه حرکت نوک زبان، میزان محل گرفتگی پشت لثه و میزان سایش خارج‌شده به هنگام تولید این همخوان، همگی از جمله عوامل تأثیرگذار در تغییرات بین - گوینده هستند. تغییر در هر کدام از عوامل یادشده به تغییرات ویژگی‌های آکوستیکی آوا، منجر خواهد شد. از

این نتایج می‌توان استنباط کرد که گویندگان زن و مرد فارسی‌زبان در نحوه حرکت اندام‌های گویایی‌شان به هنگام تولید همخوان /s/ با هم تفاوت قابل ملاحظه‌ای داشته‌اند. شکل جعبه‌ای ۱ شکل گرافیکی تغییرات بین - گوینده را در پارامتر آکوستیکی دیرش در همخوان /s/ در دو گروه زنان و مردان فارسی‌زبان نشان می‌دهد.



شکل ۱: نمودار جعبه‌ای نشان‌دهنده تغییرات مرکز تجمع انرژی در همخوان سایشی بی‌واک /s/ در

گویندگان زن و مرد فارسی‌زبان (دوازده گوینده اول زن و دوازده گوینده دوم مرد هستند)

**Figure 1:** Boxplot of between-speaker variability of COG of voiceless fricative /s/ in male and female Persian speakers (the first 12 speakers are female and the second 12 speakers are male).

#### ۳-۴. دیرش

دیرش هم‌بسته آکوستیکی مدت زمانی است که اندام‌های تولیدی در وضعیت مناسب برای تولید یک واحد زبانی قرار می‌گیرند و به هزارم ثانیه (ms) محاسبه می‌شود (مدرسی قوامی، ۱۳۹۳: ۱۱۱). جدول ۴ گزارش آمار توصیفی مربوط به مشخصه آوایی دیرش در دو گروه گویشوران مرد و زن را ارائه می‌دهد.

جدول ۴: میانگین و انحراف معیار دیرش همخوان‌های سایشی بی‌واک زبان فارسی در دو گروه مردان و زنان (برحسب ms)

**Table 4:** Mean and standard deviation of duration of voiceless fricatives in male and female Persian speakers (ms)

| زن             |                | مرد            |                | دیرش |
|----------------|----------------|----------------|----------------|------|
| تکرار اول      | تکرار دوم      | تکرار اول      | تکرار دوم      |      |
| ۱۴۳<br>(۴۰/۳۰) | ۱۴۵<br>(۴۰/۴۲) | ۱۳۲<br>(۳۵/۴۵) | ۱۳۶<br>(۳۷/۹۶) | /s/  |
| ۱۳۶<br>(۴۵/۵۴) | ۱۳۵<br>(۳۷/۱۴) | ۱۲۴<br>(۳۵/۳۰) | ۱۲۵<br>(۳۷/۲۱) | /ʃ/  |
| ۱۰۱<br>(۳۲/۰۵) | ۱۰۴<br>(۳۸/۱۲) | ۹۵<br>(۳۳/۶۳)  | ۱۰۶<br>(۳۹/۲۱) | /f/  |
| ۱۳۷<br>(۴۱/۹۵) | ۱۳۶<br>(۴۳/۴۶) | ۱۱۰<br>(۳۳/۷۵) | ۱۱۱<br>(۳۳/۳۰) | /x/  |

\*میانگین عدد بالا و انحراف معیار عدد پایین است

با توجه به ارقام جدول ۴، به‌طور کل بیشترین میزان میانگین دیرش مربوط به همخوان /s/ و کمترین میزان مربوط به همخوان /f/ است. با نگاهی به مقایسه مقادیر مربوط به میانگین‌های دیرش در دو گروه مردان و زنان مشاهده می‌کنیم زنان همخوان‌های سایشی /s/، /ʃ/ و /x/ را با دیرش طولانی‌تری نسبت به مردان تولید کرده‌اند؛ در حالی که مردان همخوان سایشی /f/ را در تکرار اول خود نسبت به زنان با دیرش بیشتری آدا کرده‌اند. اگرچه به‌طور میانگین، دیرش همخوان /f/ در گروه زنان نسبت به مردان بیشتر بوده است؛ اما این اختلاف چندان قابل ملاحظه نیست (۲ هزارم ثانیه). همچنین تفاوت میانگین در تکرار اول و دوم مردان در تولید همخوان سایشی /f/ حاکی از تغییرات درون - گوینده میزان دیرش در این گروه است ( $\chi^2=7/88, p<0.0001$ ).

در مرحله بعد به منظور بررسی تغییرات بین - گوینده در پیکره آوایی موردبررسی، اثر ثابت گوینده با استفاده از مدل خطی اثرمخلوط با کمک نرم‌افزار آر (R) بررسی شد. گوینده به-

عنوان اثر ثابت و جمله به عنوان اثر تصادفی در نظر گرفته شد. جدول ۵ نتایج مربوط به اجرای مدل خطی اثر مخلوط در بررسی تغییرات دیرش در گویندگان مرد و جدول ۶ نتایج مربوط به اجرای مدل خطی اثر مخلوط در بررسی تغییرات دیرش در گویندگان زن را ارائه می‌دهد.

جدول ۵: نتایج مربوط به آنالیز مدل خطی اثر مخلوط در بررسی تغییرات بین - گوینده دیرش در گروه گویندگان مرد

**Table 5:** Results of mixed-effect model for between-speaker variability of duration in male Persian speakers

| دیرش | X <sup>2</sup> (df) | P        | AIC   | آزمون | عامل آزمودنی |
|------|---------------------|----------|-------|-------|--------------|
| /s/  | ۱۲/۹۱۴ (۱)          | < .۰۰۰۰۱ | -۴۳۶۳ | LME   | گوینده       |
| /ʃ/  | ۰/۷۹۱ (۱)           | =/۰۵۸۷۷  | -۳۰۸۲ | LME   | گوینده       |
| /f/  | ۱/۸۵۹۷ (۱)          | =/۱۷۲۷   | -۱۱۹۷ | LME   | گوینده       |
| /x/  | ۴/۵۰۴۹ (۱)          | =/۰۳۳۸   | -۱۵۳۹ | LME   | گوینده       |

\*سطح معناداری: ۰/۰۱۲۵

جدول ۶: نتایج مربوط به آنالیز مدل خطی اثر مخلوط در بررسی تغییرات بین - گوینده دیرش در گروه گویندگان زن

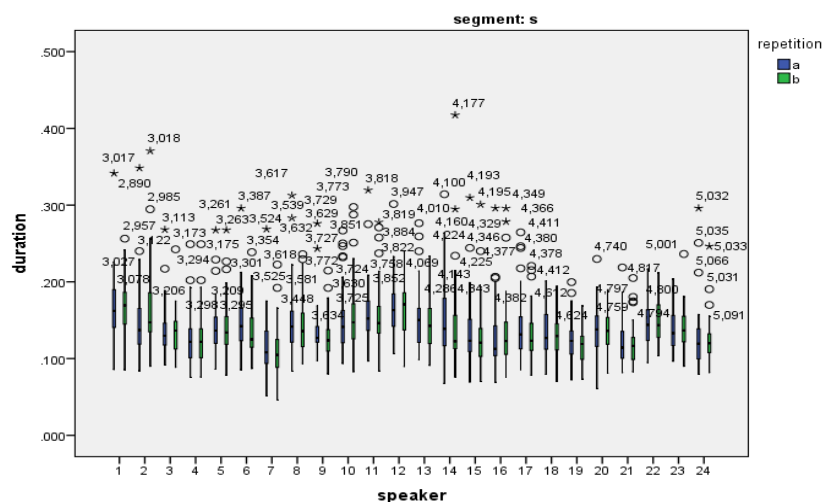
**Table 6:** Results of mixed-effect model for between-speaker variability of duration in female Persian speakers

| دیرش | X <sup>2</sup> (df)   | P        | AIC   | آزمون | عامل آزمودنی |
|------|-----------------------|----------|-------|-------|--------------|
| /s/  | ۵/۰۲۵۲ (۱)            | < .۰۰۰۰۱ | -۴۱۹۲ | LME   | گوینده       |
| /ʃ/  | ۳ <sup>۰۰۰۴</sup> (۱) | =/۹۸۹۹   | -۲۸۳۶ | LME   | گوینده       |
| /f/  | ۰/۳۲۵۱ (۱)            | =/۰۶۸۶   | -۱۲۲۲ | LME   | گوینده       |
| /x/  | ۱/۱۹۰۸ (۱)            | =/۲۷۵۲   | -۱۴۰۸ | LME   | گوینده       |

\*سطح معناداری: ۰/۰۱۲۵

نتایج حاصل از اجرای مدل خطی اثر مخلوط در بررسی اثر گوینده نشان می‌دهد که

تغییرات دیرش در همخوان /s/ هم در گروه مردان و هم در گروه زنان معنادار بوده است؛ در حالی که تغییرات دیرش در همخوان‌های /f/، /ʃ/ و /x/ در هر دو گروه معنادار گزارش نشده است. کاوناگ (۲۰۱۳) نیز در پژوهش خود تفاوت بین -گوینده از لحاظ دیرش را در همخوان /s/ گزارش کرده است، اگرچه وی به‌طور کل دیرش همخوان را پارامتر مؤثری در تشخیص هویت گوینده نمی‌داند. شکل جعبه‌ای ۲ شکل گرافیکی تغییرات بین -گوینده در پارامتر آکوستیکی دیرش در همخوان /s/ را در دو گروه زنان و مردان فارسی‌زبان نشان می‌دهد.



شکل ۲: نمودار جعبه‌ای نشان‌دهنده تغییرات دیرش در همخوان سایشی بی‌واک /s/ در گویندگان زن و مرد فارسی‌زبان (دوازده گوینده اول زن و دوازده گوینده دوم مرد هستند)

**Figure 2:** Boxplot of between-speaker variability of duration of voiceless fricative /s/ in male and female Persian speakers (the first 12 speakers are female and the second 12 speakers are male).

## ۵. بحث و بررسی

هدف پژوهش حاضر بررسی تغییرات نظام‌مند بین -گوینده در پارامترهای آکوستیکی مرکز تجمع انرژی و دیرش در سایشی‌های بی‌واک زبان فارسی با در نظر گرفتن دو متغیر جنسیت و

گوینده بود. ما نشان دادیم که متغیر جنسیت بر مرکز تجمع انرژی و دیرش همخوان‌های سایشی /s/، /ʃ/ و /x/ اثرگذار بوده است؛ در حالی که بر همخوان سایشی /f/ تأثیری نداشته است. این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت‌های فیزیولوژیک میان اندازه دستگاہ گفتار زنان و طول تارآوهای آنان باشد. همچنین، عوامل اجتماعی و نیز ویژگی‌های اکتسابی به هنگام یادگیری زبان اول می‌تواند در این تغییرات مؤثر باشد. همچنین در این پژوهش، در گروه مردان اثر گوینده بر مرکز تجمع انرژی /s/ و /f/ و دیرش /s/ معنادار بوده است. اگرچه با توجه به وجود تغییرات درون - گوینده در همخوان /f/ می‌توان گفت همخوان سایشی /f/ نمی‌تواند مانند همخوان سایشی /s/ در تشخیص هویت گویندگان فارسی‌زبان مؤثر باشد، مگر اینکه پارامترهای آکوستیکی دیگر این همخوان در مطالعات بعدی بررسی شود. بنابراین در پاسخ به پرسش یک باید گفت در گروه مردان مرکز تجمع انرژی و دیرش در سایشی بی‌واک /s/ و نیز مرکز تجمع انرژی در سایشی /f/ و در گروه زنان مرکز تجمع انرژی در سایشی‌های بی‌واک /s/ و /ʃ/ و نیز دیرش سایشی /s/ می‌تواند بالقوگی تمایز میان گویندگان فارسی‌زبان را داشته باشند.

در رابطه با پرسش دوم که کدامیک از پارامترها تغییرات بین - گوینده را بیشتر نشان می‌دهند، مدل رگرسیون لجستیک اسمی<sup>۲۰</sup> را در نرم‌افزار اس.پی.اس.اس اجرا کردیم. در گروه مردان مرکز تجمع انرژی /s/ با ۵۱٪، دیرش /s/ با ۳۴٪ و مرکز تجمع انرژی /f/ با ۱۵٪ توانسته‌اند بیشترین تغییرات بین - گوینده را نشان دهند. در گروه زنان، مرکز تجمع انرژی /ʃ/ با ۵۱٪، مرکز تجمع انرژی /s/ با ۴۲٪، و دیرش /s/ با ۶٪ توانسته‌اند بیشترین تغییرات بین - گوینده را توضیح دهند. بدین ترتیب، پارامتر آکوستیکی مرکز تجمع انرژی و همخوان‌های سایشی /s/ و /ʃ/ بالقوگی به‌کارگیری در آواشناسی قضائی را دارند؛ در حالی که پارامتر آکوستیکی دیرش چندان امیدوارکننده نبوده است. کاوناگ (2013) نیز در پژوهش خود به نتیجه مشابه در رابطه با ناکارآمدی پارامتر آکوستیکی دیرش اشاره کرده است. همچنین کاوناگ (2013) و گوردون (2002) در پژوهش‌های خود بر اهمیت همخوان سایشی /s/ در تغییرات بین - گوینده اشاره کرده‌اند.

## ۶. نتیجه

در این پژوهش با اتخاذ رویکردی قضائی نسبت به پارامترهای آکوستیکی مرکز تجمع انرژی و دیرش سایشی‌ها به بررسی میزان بالقوگی این پارامترها در تشخیص هویت گویندگان فارسی-زبان در همخوان‌های سایشی بی‌واک زبان فارسی پرداختیم. یافته‌های حاصل از این پژوهش نشان داد مرکز تجمع انرژی /s/ در گروه مردان و مرکز تجمع انرژی /s/ و /ʃ/ در گروه زنان مناسب‌ترین پارامترهای آکوستیکی در تمایز گویندگان بوده‌اند. اما دیرش /s/ با وجود معنادار بودن تفاوت آن در میان گویندگان پارامتر مناسبی در تشخیص هویت گوینده در زبان فارسی به‌شمار نمی‌رود. در پژوهش‌های آتی، سایر پارامترهای آکوستیکی مربوط به طیف سایشی‌ها بررسی خواهد شد تا در نهایت مجموعه‌ی مناسبی از بهترین پارامترهای آکوستیکی تمایزدهنده‌ی گویندگان برای سایشی‌های بی‌واک زبان فارسی به‌دست آید. نتایج این پژوهش می‌تواند در آشناسی قضائی و به‌طور ویژه در مقایسه‌ی قضائی گویندگان به کار گرفته شود.

## ۷. پی‌نوشت‌ها

1. Forensic phonetics
2. between-speaker variability
3. within-speaker variability
4. duration
5. centre of gravity
6. Ladefoged, Peter
7. Maddieson, Ian
8. K. Hayward
9. Gold, Erica
10. French, Peter
11. Koffi, Ettien
12. Bloch, Maria
13. Central Minnesota
14. Univaso, Pedro
15. standard deviation
16. Gordon, Matthew
17. Linear Mixed Effect Model (LME)
18. fixed effect
19. random effect
- 20.

۱۷. زیروبمی همبسته‌ی درکی فرکانس پایه است.



21. full model
22. reduced model
23. Fox, Robert Allen
24. Nissen, Shawn L.
25. nominal logistic regression

## ۸. منابع

- اسدی، هما و همکاران (۱۳۹۴). «تشخیص هویت گوینده بر اساس معیارهای آکوستیکی طیفی». *دومین همایش زبان‌شناسی حقوقی*. تهران: نشر نویسه پارس. صص ۳۳-۵۰.
- بی‌جن‌خان، محمود (۱۳۹۲). *نظام آوایی زبان فارسی*. تهران: سمت.
- مدرسی قوامی، گلناز (۱۳۹۳). *آواشناسی: بررسی علمی گفتار*. تهران: سمت.
- نامور فرگی، مجتبی و همکاران (۱۳۹۲). «استفاده از الگوی طیف‌نگاشتی واکه‌ها به عنوان کلیدی برای بازشناسی حقوقی سخنگو». *جستارهای زبانی*. د. ش. ۴. صص ۱۹۵-۲۱۳.

## References:

- Asadi, H.; N. Hosseini-Kivanani & M. Nourbakhsh (2015). Forensic voice comparison based on acoustic parameters. *2<sup>nd</sup> Conference on Forensic Linguistics: Forensic Discourse Analysis*. Tehran, Iran. [In Persian].
- Bijankhan, M. (2014). *Phonetic system of the Persian language*. Tehran: SAMT. [In Persian].
- Fox R.A., Nissen SL (2005). "Sex-related acoustic changes in voiceless English fricatives". *Journal of Speech, Language and Hearing Research*. (48) Pp: 753-765.
- Gold, E. & J.P. French (2011). "International practices in forensic speaker comparison". *The International Journal of Speech, Language and the Law*. 18(2).Pp: 293-307.
- Gordon, M.; P. Barthmaier & K. Sands (2002). "A cross-linguistic acoustic study of voiceless fricatives". *Journal of the International Phonetic Association*. 32(2). Pp: 141-174.

- Haley, K. L.; E. Seelinger; K. C. Mandulak & D. J. Zajac (2010). "Evaluating the spectral distinction between sibilant fricatives through a talker-centered approach". *Journal of Phonetics*. 38(4). Pp: 548-554.
- Hayward, K. (2000). *Experimental Phonetics*. Harlow: Longman Linguistics Library.
- Jongman, A.; R. Wayland & S. Wong (2000). "Acoustic characteristics of English fricatives". *Journal of the Acoustical Society of America*. 108(3).Pp: 1252-1263.
- Kavanagh, C. M. (2013). *New consonantal acoustic parameters for forensic speaker comparison*. Ph.D. dissertation, University of York.
- Ladefoged, P. & I. Maddieson (1996). *The Sounds of the World's Languages*. Oxford: Blackwell.
- Modarresi Ghavami, G. (2015). *Phonetics: The Scientific Study of Speech*. Tehran: SAMT [In Persian].
- Namvar Fargi, M.; Sh. Sharifi; M. Pahlavan Nezhad; A. Estaji & M. Meshkatoddini (2014). "Using logarithmic spectrographs of vowels as a key for forensic speaker recognition". *Language Related Research*. 4(4). Pp:195-219 [In Persian].
- Phatak, S. A. & J. B. Allen (2007). "Consonant and vowel confusions in speech-weighted noise". *The Journal of the Acoustical Society of America*. 121(4), (Pp: 2312-26).
- Rose, P. (2003). *Forensic Speaker Identification*. New York: Taylor & Francis.
- Stuart-Smith, J. (2007). "Empirical Evidence for gendered speech production: /s/ in Glaswegian". In J. Cole, & J. I. Hualde (Eds.), *Laboratory Phonology*, (9) 65-86, Berlin: Mouton de Gruyter.
- Univaso, P.; M. Martinez Soler & J. A.Gurlekian (2014). "Variabilidad intra- e inter-hablante de la fricativa sibilante /s/ en el español de Argentina". *Estudios de fonética experimental*. 23. Pp: 95-124.
- Wang, M. D. & R. C. Bilger (1973). "Consonant confusions in noise: A study of

perceptual features”. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 54(5).Pp: 1248–66).

- Weber, A. & R. Smits (2003). “Consonant and vowel confusion patterns by American English listeners”. *Proceedings of the 15th International Congress of Phonetic Sciences (ICPhS)*. Barcelona, Spain. August 3–9. 2003. Pp: 1437–40.
- Woods, D.L.; E.W. Yund; T.J. Herron & M.A. Ua Cruadhlaioich (2010). “Consonant identification in consonant-vowel-consonant syllables in speech-spectrum noise”. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 127(3) ,(1609 – 23).
- Zhang, C. & T. Tan (2008). “Voice disguise and automatic speaker recognition”. *Forensic Science International*, 175 (2-3). Pp: 118-122.