

بررسی ویژگی‌های واژه‌های زبان فارسی در حالت‌های واضح و وکودشده و مقایسهٔ مقدماتی آن با واژه‌های زبان انگلیسی

فرنوش جاراللهی ^۱ دانشگاه علوم پزشکی ایران	مسعود متصدی زرنندی ^۱ دانشگاه علوم پزشکی تهران
امیرهمایون جعفری ^۲ دانشگاه علوم پزشکی تهران	شهره جلالی ^۳ دانشگاه علوم پزشکی تهران
نینا حسینی کیونانی ^۴ کارشناس ارشد زبان شناسی همگانی، دانشگاه الزهرا	زهرا شیرژیان ^۵ دانشجوی دکتری مهندسی پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تهران
امیرسالار جعفرپیشه ^۶ دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی و دانشگاه علوم پزشکی تهران	سیده مهناز احمدی ^۷ دکترای شنوایی شناسی، دانشگاه کالیفرنیا جنوبی

چکیده

درک واژه‌ها به واسطهٔ انتقال اطلاعات طیفی و زمانی صورت می‌گیرد. وجود اطلاعات طیفی برای درک واژه‌ها حائز اهمیت است، اما با تضعیف آن در سیگنال‌های ساختگی (مانند گفتار وکودشده)، وجود اطلاعات زمانی در پوش، هنوز می‌تواند سیگنال را قابل فهم گرداند. هدف این مطالعه تعیین ویژگی‌های آکوستیکی واژه‌های واضح و وکود شده در گویشوران فارسی‌زبان و مقایسهٔ مقدماتی آن با واژه‌های گویشور انگلیسی‌زبان، برای نخستین بار بود. ده گویشور

1. motasaddi@yahoo.com
2. jarollahi.f@iums.ac.ir
3. jalaeish@tums.ac.ir
4. amir_j73@yahoo.com
5. z.shirjiyan@gmail.com
6. nina.hosseini@student.alzahra.ac.ir
7. mahnazahmadi@gmail.com
8. jafarpisheh@gmail.com

فارسی‌زبان (۵ زن و ۵ مرد) و یک گویشور مرد انگلیسی‌زبان، واژه‌های ساده‌ی زبان خود را سه بار تولید کردند. سپس واژه‌ها با استفاده از نرم‌افزار متلب (MATLAB) وکود شدند. شکل موج، طیف‌نگاشت و نمودار LPC واژه‌های واضح و وکودشده، توسط نرم‌افزار Praat اندازه‌گیری و سپس مقایسه و تحلیل شد. براساس نتایج این تحقیق، در گویشوران فارسی‌زبان F0 و F1 فضای واژه‌ای و دیرش واژه‌های واضح در زنان بیشتر از مردان بود، F2 و F3 تفاوتی نداشت، ولی شدت کمتر بود. همین‌طور، فرکانس سازه‌های اول تا سوم فارسی با انگلیسی تفاوت داشت. فضای واژه‌ای فارسی از انگلیسی بزرگتر بود. دیرش واژه‌های انگلیسی از فارسی بیشتر، اما شدت آنها کمتر بود. در واژه‌های وکودشده هر دو زبان، F0 و فرکانس سازه‌ها قابل شناسایی نبوده است و نمودار LPC آنها برخلاف واژه‌های واضح، قله‌های گردشده با دامنه‌های کمتر داشتند. دیرش واژه‌های وکودشده با واضح تفاوتی نداشت، اما شدت آنها در فارسی کاهش و در انگلیسی افزایش یافت. نتایج وکودکردن واژه‌های زبان‌های فارسی و انگلیسی نشانگر تفاوت‌های طیفی واژه‌های وکودشده نسبت به واژه‌های واضح بود.

کلیدواژه‌ها: واکه، ویژگی‌های آکوستیکی، زبان فارسی، زبان انگلیسی، محرک‌های وکودشده.

۱- مقدمه

بیش از شصت و پنج سال پیش عقیده پژوهشگران بر آن بود که وجود نشانه‌های طیف فرکانسی^۱ برای بازشناسی^۲ انواع سیگنال‌های گفتاری، اعم از واکه، همخوان، واژه و جمله، ضروری است (لیکلیدر^۳ و پولاک^۴، ۱۹۴۸؛ شانون^۵ و همکاران، ۱۹۹۵). گرچه، براساس پژوهش‌های اولیه، از میان سه ویژگی آکوستیکی گفتار واضح^۶ (ساختار ظریف^۷، پیرودیسیتی^۸ و

1. frequency spectrum cues

2. recognition

3. J. C. R. Licklider

4. I. Pollack

5. R. V. Shannon

6. clear speech

۷. ساختار ظریف (fine structure): تغییراتی که در شکل موج در داخل دوره‌های مجزا در اصوات دوره‌ای، و یا در فاصله‌های زمانی کوتاه در اصوات غیردوره‌ای رخ می‌دهد به عنوان اطلاعات ساختار ظریف در نظر گرفته می‌شود. از نظر آکوستیکی، ساختار ظریف اطلاعاتی را درباره طیف صدا می‌دهد، همچنین حاوی الگوهای سازه است (رژن، ۱۹۹۲).

۸. پیرودیسیتی (periodicity): ویژگی‌های سیگنال گفتاری که به تفکیک محرک‌های دوره‌ای از غیردوره‌ای مربوط می‌شود (رژن، ۱۹۹۲).

پوش^۱)، ساختار سازه‌ای^۲ (سازه‌ها و فرکانس پایه^۳) را مهم‌ترین مشخصه‌های فیزیکی و ادراکی برای واژه‌ها می‌دانستند (لدفوگد^۴ و دیسنر^۵، ۲۰۰۵؛ ریکی‌مور^۶، ۲۰۰۶ و محمدی و همکاران، ۱۳۹۰)، اما دیگر ویژگی‌ها، به ویژه پوش سیگنال گفتاری، نیز از اهمیت بسیاری برخوردارند (شانون و همکاران، ۱۹۹۵). با ایجاد تغییرات نامطلوب در اجزای مختلف سیگنال‌های گفتاری، از جمله تضعیف اطلاعات طیفی، به اهمیت وجود پوش سیگنال پی برده شده است. در واقع، پرکاربردترین این نوع محرک‌های گفتاری، سیگنال وُکودشده^۷ (VS) است. گفتار وُکودشده، صوت گفتاری ساخته‌شده‌ای است که در آن یک یا چند باند حامل جایگزین سیگنال گفتاری می‌شود، به طوری که پوش دامنه سیگنال اصلی حفظ می‌شود اما اطلاعات طیفی^۸ آن از بین می‌رود (شانون و همکاران، ۱۹۹۵؛ ریکی‌مور، ۲۰۰۶). درک اصوات گفتاری وُکودشده شبیه به درک صدا توسط افرادی است که عمل کاشت حلزون را انجام داده‌اند، یعنی صداها شبیه به پیچ‌چ‌خشن و تیز است. بنابراین، مشخصه اصلی گفتار وُکودشده، کاهش شدید اطلاعات فرکانسی سیگنال گفتاری اصلی است. تعداد باندها در بازشناسی سیگنال ساخته‌شده، متغیر بسیار حائز اهمیتی است، به طوری که افزایش باندهای فرکانسی^۹ از یک تا چهار، قابلیت فهم VS را افزایش می‌دهد. بنابراین VS تک باند بسیار کم اما VS سه و چهار باند نسبتاً قابل فهم است (شانون و همکاران، ۱۹۹۵).

از سال‌های ۱۹۹۰، براساس مطالعات سایکواکوستیک، مدل‌های تئوریک که از شواهد فیزیولوژیکی ساخته شده و بالاخره براساس شواهد موفقیت‌آمیز بسیاری از بیماران کاشت حلزون شده، این فرضیه تقویت شد که اطلاعات زمانی اصوات گفتاری (نسبت به اطلاعات طیفی این صداها) به‌تنهایی می‌تواند در درک گفتار مؤثر باشد (رُزن، ۱۹۹۲). این مطالعات

۱. پوش (envelope): پوش سیگنال اشاره به تغییراتی در دامنه کلی موج گفتاری دارد (رُزن، ۱۹۹۲).

2. formant structure
3. fundamental frequency
4. P. Ladefoged
5. S. F. Disner
6. H. Riquimaroux
7. vocoded speech
8. spectral information

۹. باند فرکانسی (frequency band): محدوده‌ای از فرکانس‌ها که بین دو حد خاص قرار دارد (عادل‌قهرمان و همکاران، ۱۳۸۵).

اطلاعات بسیار ارزشمندی را درباره نحوه پردازش گفتار و درک آن در اختیار گذاشته‌اند (ریکی مور، ۲۰۰۶)، و کماکان علاقه به پژوهش بر روی این ویژگی‌ها ادامه دارد.

امروزه به خوبی روشن شده است که به‌رغم تغییرات زیادی که در رسیدن اصوات گفتاری به گوش رخ می‌دهد، می‌توان گفتار را به خوبی دریافت و درک کرد. در آزمایشگاه نیز، با ایجاد تغییرات شدید و تجزیه سیگنال، درک گفتار بسیار قوی است. وجود نشانه‌های آکوستیکی برای شناخت و درک گفتار، ضروری نیست زیرا در سیگنال گفتاری حشو فراوانی وجود دارد و بنابراین نشانه‌های آکوستیکی متعددی برای هویت آوایی وجود دارد (اسکات^۱، ۲۰۰۵). افراد برای تشخیص سیگنال آکوستیکی که یکی از نشانه‌های حذف شده باشد، بر دیگر علائم موجود در آن سیگنال اتکا می‌کنند. هرچه انتخاب فرکانسی در سیستم شنوایی ضعیف‌تر شده باشد، نقش فاکتورهای زمانی به‌طور واضحی افزایش می‌یابد (رُزن، ۱۹۹۲). بنابراین سیگنال گفتاری با اطلاعات طیفی تضعیف‌شده، هنوز می‌تواند قابل فهم باشد (مایلدنر^۲، ۲۰۰۸). این موضوع مربوط به این است که درک ما از گفتار، قوی و انعطاف‌پذیر است، و توسط مسیرهای پردازشی چندگانه و موازی حمایت می‌شود (اسکات، ۲۰۰۵؛ هرویس آدلمن^۳ و همکاران، ۲۰۱۱).

تاکنون پژوهش‌های متعددی بر روی ویژگی‌های آکوستیکی واکه‌های زبان انگلیسی (لی^۴، ۱۹۷۳؛ رُزن^۵، ۱۹۹۲؛ هلینبرند^۶ و همکاران، ۱۹۹۵؛ چو^۷ و لده‌فوگد، ۱۹۹۹؛ بی‌کن^۸ و اورلیکوف^۹، ۲۰۰۰؛ لده‌فوگد و دیسنر، ۲۰۰۵؛ برمن^{۱۰}، ۲۰۰۷) و وُکودکردن آنها (شانون و همکاران، ۱۹۹۵ و ۱۹۹۸؛ اویدا^{۱۱} و ناکاجیما^{۱۲}، ۲۰۰۸؛ چن^{۱۳} و لوئیزو^{۱۴}، ۲۰۱۱) انجام شده است. بیشتر پژوهش‌های صورت‌گرفته بر روی محرک‌های گفتاری وُکودشده در زبان‌های

1. S. K. Scott
2. V. Mildner
3. A. G. Hervais-Adelman
4. W. A. Lea
5. S. Rosen
6. J. Hillenbrand
7. T. Cho
8. R. J. Baken
9. R. F. Orlikoff

10. A. Behrman
11. K. Ueda
12. Y. Nakajima
13. F. Chen
14. P. C. Loizou

انگلیسی و ژاپنی بوده است (شانون و همکاران، ۱۹۹۸؛ فول و شانون، ۱۹۹۹؛ لیو^۱ و همکاران، ۲۰۱۲؛ شوارتز^۳ و کترجی^۴، ۲۰۱۲).

در زبان فارسی پژوهش‌های چندی به بررسی فرکانس سازه‌های اول و دوم (F1، F2)، و فضای واژه‌های واضح پرداخته‌اند (سپنتا، ۱۳۷۷؛ بی‌جن‌خان، ۲۰۰۰؛ انصارین، ۲۰۰۴؛ صالحی و همکاران، ۱۳۸۷ و محمدی و همکاران، ۱۳۹۰)، اما در واقع می‌توان بیان داشت که برای اولین بار وُکودکردن واژه‌های فارسی در این پژوهش انجام شده است. به دلیل فقدان محرک‌های گفتاری فارسی وُکودشده، تاکنون هیچ پژوهشی در زبان فارسی با این نوع محرک‌ها انجام نشده است. بالطبع هیچ پژوهش مقایسه‌ای بین شباهت‌ها و تفاوت‌های آکوستیکی واژه‌ها در زبان‌های فارسی و انگلیسی، در حالت‌های واضح و وُکودشده آنها صورت نگرفته است.

از آنجاکه ویژگی‌های آکوستیکی، واجی و واژگانی زبان فارسی با زبان انگلیسی و همچنین دیگر زبان‌ها متفاوت است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۰؛ رزن، ۱۹۹۲؛ اویدا و ناکاجیما، ۲۰۰۸؛ الرمایر^۵ و همکاران، ۲۰۱۲؛ چن^۶، ۲۰۱۲)، نیاز به پژوهش‌های آکوستیکی بنیادی در واج‌های زبان فارسی برای اهداف گوناگون نمایان است. از جمله لازم است انطباق پروتزه‌های کاشت که با ویژگی‌های زبان انگلیسی طراحی شده است در کاربران فارسی‌زبان به نحو شایسته انجام شود، و یا نحوه پردازش و درک شنوایی گفتار فارسی مورد بررسی قرار گیرد. بر این اساس، هدف پژوهش حاضر تعیین ویژگی‌های واژه‌های زبان فارسی واضح و وُکودشده و همچنین مقایسه توصیفی مقدماتی با واژه‌های مشابه در زبان انگلیسی است.

-
1. Q. J. Fu
 2. C. Liu
 3. K. C. Schvartz
 4. M. Chatterjee
 5. W. Ellermeier
 6. F. Chen

۲- روش بررسی

پژوهش حاضر به بررسی و مقایسهٔ مقدماتی شش واژه ساده در زبان فارسی شامل /u/، /o/، /a/، /i/، /e/، /i/ و هشت واژهٔ زبان انگلیسی امریکایی شامل /u/، /ʊ/، /ʌ/، /ɑ/، /a/، /ɛ/، /ɪ/، /i/ می‌پردازد. واژه‌های انگلیسی مشابه واژه‌های فارسی عبارت از /u/، /ʊ/، /a/، /ɪ/، /i/ هستند که به ترتیب در واژه‌های heed-hid-had-hod-hood-who'd به کار رفته‌اند. برای تعیین ویژگی‌های آکوستیکی واژه‌های واضح در زبان فارسی از پنج گویشور زن (میانگین سنی: ۲۵/۶±۱/۶۷ سال) و پنج گویشور مرد (میانگین سنی: ۲۸±۲/۴۵ سال) بومی زبان فارسی با گونهٔ معیار که دارای شنوایی طبیعی و حنجرهٔ کاملاً طبیعی بودند، که به‌طور تصادفی از بین دانشجویان کارشناسی ارشد انتخاب شده بودند استفاده شد. گویشوران واژه‌ها را در قالب /hVd/ به‌صورت هجاهای بی‌معنا با سه بار تکرار، خارج از جمله و بدون آهنگ و تکیه تولید کردند و از طریق ضبط صدای آنها در اتاق آکوستیک کلینیک شنوایی‌شناسی دانشگاه علوم پزشکی ایران و با برنامه Praat واژه‌های واضح تولید شد، و در مجموع ۱۸۰ نمونهٔ آوایی فارسی به‌دست آمد: {مجموع ۱۸۰ نمونه (۶ واژه * ۳ بار تکرار * ۱۰ گویشور)}.

برای تعیین ویژگی‌های آکوستیکی واژه‌های واضح در زبان انگلیسی، صدای یک گویشور مرد ۲۵ سالهٔ انگلیسی‌زبان با لهجهٔ غرب آمریکا و بومی ایالت یوتا، که در دسترس بود، در استودیوی صدابرداری با سرعت نمونه ۴۸^۳ کیلوهرتز و با سه بار تکرار که ۸ واژهٔ زبان انگلیسی را تولید کرد، ضبط شد و بدین ترتیب ۲۴ نمونهٔ آوایی به‌دست آمد: {مجموع ۲۴ نمونه (۸ واژه * ۳ بار تکرار * ۱ گویشور)}. سپس همه واژه‌های تولیدشده در هردو زبان در گویشوران مرد و کود شد. به دو دلیل فقط صدای گویشوران مرد برای وکود کردن واژه‌ها انتخاب شد: اولاً، گویشور زن انگلیسی‌زبان برای مقایسه با گویشوران زن فارسی‌زبان در دسترس نبود. ثانیاً، در پژوهش‌های مختلف بر روی محرک‌های وکودشده از گویشوران زن یا مرد استفاده شده است، چون جنس صدا تأثیری بر وکود کردن ندارد. بدین ترتیب ۲۷۰ نمونهٔ آوایی واژه‌های فارسی وکودشده {مجموع ۲۷۰ نمونه (۶ واژه * ۳ بار تکرار * ۵ گویشور مرد * ۳ باند)} و ۵۴ نمونهٔ

۱. به ترتیب در واژه‌های hid-hed-had-had-hod-hud

۲. به ترتیب در واژه‌های heed-hid-head-had-hud-hod-hood-who'd

آوایی واکه‌های انگلیسی و کودشده: {مجموع ۵۴ نمونه (۸ واکه * ۳ بار تکرار * ۱ گویشور مرد * ۳ باند)} به دست آمد.

۲-۱- نحوه انجام کار

با به کارگیری نرم‌افزار «متلب» سیگنال‌ها به چهار، ده و بیست باند تقسیم شدند. علت انتخاب این تعداد باند براساس مطالعات قبل بود که چهار باند حداقل تعداد باندی است که سیگنال‌های گفتاری تاحدودی قابل فهم است (ریکی مور، ۲۰۰۶) و بالای هشت باند بسیار زیاد قابل فهم است و به همین دلیل ده باند انتخاب شد و بیست باند نیز بسیار مشابه سیگنال‌های واضح است. نحوه تقسیم فرکانسی به صورت لگاریتمی براساس فرمول گرین وود^۱ (۱۹۹۰) انجام شد.

پس از کسب حالت و کودشده واکه‌ها که با استفاده از نرم‌افزار متلب صورت گرفت، کلیه نمونه‌های آوایی فارسی و انگلیسی در هر دو حالت واضح و کودشده در قالب فایل‌های wave در هر دو بخش پژوهش با استفاده از نرم‌افزار Praat ویرایش^۵، ۲، ۳۴ شکل موج و طیف‌نگاشت آنها به دست آمد و مورد تجزیه و تحلیل صوت شناختی قرار گرفت. بدین صورت که محدوده وضعیت ثبات^۲ در حدود ۵۰ میلی‌ثانیه وسط طیف‌نگاشت مشخص شد. در شکل ۱ نمونه‌ای از طیف‌نگاشت و موج صوتی واکه /e/ در واژه /hed/ نشان داده شده است، که در این شکل محدوده اندازه‌گیری شده برای اندازه‌گیری فرکانس سازه‌ای واکه مشخص است، به طوری که مناطق تیره افقی سازه‌های این واکه‌اند، و از پایین به بالا به صورت F1، F2، F3 نام‌گذاری می‌شوند. فرکانس پایه و شدت نیز در همین منطقه مشخص شده‌اند که با استفاده از منوی pitch و intensity به دست آمدند. از آنجا که سازه‌های بالاتر از F3 تأثیر چندانی در تعیین کیفیت واکه و تشخیص آن ندارند، بنابراین در بررسی‌های صوت‌شناختی، فرکانس پایه و فرکانس سازه‌های اول تا سوم اندازه‌گیری می‌شوند (بورسما^۳ و وینینگ^۴، ۲۰۰۷). بنابراین مشخصه‌های F0، F1، F2، F3، فضای واکه‌ای، شدت و دیرش در واکه‌های فارسی واضح

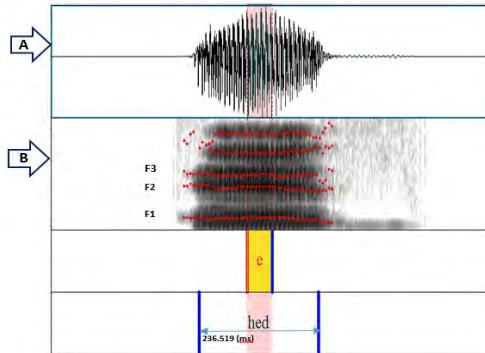
1. D. D. Greenwood
2. steady-state time
3. P. Boersma
4. D. Weenink

گویشوران زن و مرد و واکه‌های انگلیسی واضح در گویشور مرد، و مشخصه‌های شدت، دیرش و نمودار^۱ LPC واکه‌های فارسی و انگلیسی وکودشده در گویشوران مرد فارسی‌زبان و گویشور مرد انگلیسی‌زبان به‌دست آمده و مقایسه شدند. LPC طیفی است یک‌دست با قله‌هایی که نمایندهٔ سازه‌های واکه یا همخوان‌های شبه‌واکه است (زویکر^۲ و تره‌ه‌ارت^۳، ۱۹۸۰) و با مقایسهٔ LPC واکه‌های واضح و وکودشده می‌توان به تفاوت ساختار سازه‌ای این دو نوع محرک پی برد. مقادیر به‌دست‌آمده از فرکانس سازه‌های اول و دوم در پژوهش حاضر برطبق الگوی پیشنهادی زویکر و تره‌ه‌ارت (۱۹۸۰) توسط دی‌تردینگ در اکسل از هر تیز به بارک تبدیل شد، زیرا از نظر درک دیداری نمودار بارک نسبت به نمودار هر تیز نمایش بهتری دارد (شکل ۲). در این شکل، محور افقی جایگاه زبان و محور عمودی ارتفاع زبان را در تولید واکه نشان داده و مساحت آن برحسب هر تیز مربع به‌دست آمده است. با توجه به فرمول پیشنهادی کنت^۴ و کیم^۵ (۲۰۰۸) مساحت فضای واکه‌ای به‌روش زیر محاسبه شد:

$$\text{Area: } 0.5 * \left\{ \left(\frac{i}{F2} * \frac{e}{F1} + \frac{e}{F2} * \frac{a}{F1} + \frac{a}{F2} * \frac{\alpha}{F1} + \frac{\alpha}{F2} * \frac{o}{F1} + \frac{o}{F2} * \frac{u}{F1} + \frac{u}{F2} * \frac{i}{F1} \right) - \left(\frac{i}{F1} * \frac{e}{F2} + \frac{e}{F1} * \frac{a}{F2} + \frac{a}{F1} * \frac{\alpha}{F2} + \frac{\alpha}{F1} * \frac{o}{F2} + \frac{o}{F1} * \frac{u}{F2} + \frac{u}{F1} * \frac{i}{F2} \right) \right\}$$

نهایتاً برای توصیف مقادیر F_3, F_2, F_1, F_0 و دیرش و شدت از شاخص‌های آمار توصیفی (میانگین و انحراف معیار)، برای مقایسهٔ ویژگی‌های آکوستیکی واکه‌های واضح در بین دو جنس زن و مرد از تی-مستقل^۶، برای مقایسهٔ این ویژگی‌ها در بین شش واکهٔ فارسی در نمونه‌های آوایی زنان و مردان از روش آماری آنوا^۷، برای مقایسهٔ ویژگی‌های دیرش و شدت واکه‌ها در حالت‌های واضح و وکودشده در نمونه‌های آوایی فارسی از آزمون تی زوجی^۸ و در نمونه‌های آوایی انگلیسی از آزمون من-ویتنی^۹ استفاده شد. سطح معناداری $P < 0.005$ در نظر گرفته شد و نهایتاً داده‌ها با نرم‌افزار SPSS ویرایش ۲۱ توصیف و تحلیل شدند.

-
1. linear predictive coding
 2. E. Zwicker
 3. E. Terhardt
 4. R. D. Kent
 5. Y. Kim
 6. t-test
 7. ANOVA
 8. paired t-test
 9. Mann-Whitney



شکل ۱- شیوه اندازه‌گیری واکه [e] در تلفظ واژه «hed» توسط گویشور مرد (A: موج صوتی، B: طیف‌نگاشت)

۳- نتایج

پنج گویشور زن (میانگین سنی: ۲۵/۶±۱/۶۷ سال) و پنج گویشور مرد (میانگین سنی: ۲۸±۲/۴۵ سال) مشارکت‌کننده در این پژوهش، بومی زبان فارسی با گونه معیار و یک گویشور مرد ۲۵ ساله انگلیسی‌زبان با لهجه غرب آمریکا و بومی ایالت یوتا، دارای سطح شنوایی طبیعی و حنجره کاملاً طبیعی بودند. با تولید واکه‌های واضح توسط گویشوران فارسی و انگلیسی‌زبان، ویژگی‌های آکوستیکی شامل F0, F1, F2, F3، دیرش و شدت به‌دست آمد (جداول ۱ و ۲ به‌ترتیب برای واکه‌های فارسی و انگلیسی). با وُکودکردن واکه هیچ‌یک از ویژگی‌های سازه‌ها وجود نداشته و تکیه بر دیرش و شدت آنهاست. مقایسه نتایج واکه‌های واضح و وُکودشده در گویشوران مرد فارسی و انگلیسی‌زبان در جدول ۳ گزارش شده است.

۳-۱- ویژگی‌های واکه‌های واضح در گویشوران فارسی‌زبان

در هردو گویشوران مرد و زن F0 در واکه /i/ و سپس در واکه /u/ بیشترین مقدار بوده و فرکانس F0 واکه /a/ کمترین مقدار را داشته است. تحلیل F0 در نمونه‌های آوایی مردان (F (5. 387)=1/1, P=0. 37) و در نمونه‌های آوایی زنان (5. 359)=0. 527, P=0. 76) تولید شش واکه از نظر آماری معنادار نبود، اما مقدار F0 در زنان بیشتر از مردان بود (F(1. 179) = 1062. 38, P<0. 0001 (جدول ۱).

جدول ۱- میانگین و انحراف معیار فرکانس پایه، سازه‌های اول، دوم، سوم، دیرش و شدت واکه‌های گویشوران زن

و مرد فارسی‌زبان

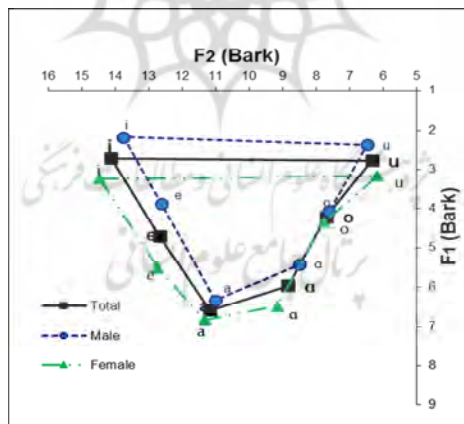
	/hud/	/hod/	/had/	/had/	/hed/	/hid/		
F0	مرد	۱۳۷ (۱۹/۷۲)	۱۳۳ (۱۸/۵۲)	۱۲۹ (۱۹/۳۳)	۱۳۰ (۱۸/۰۱)	۱۳۴ (۱۸/۷۱)	۱۳۸ (۱۹/۵۵)	
	زن	۲۲۳ (۱۸/۱۹)	۲۲۵ (۱۷/۸۰)	۲۲۰ (۲۰/۱۴)	۲۲۶ (۲۴/۸۷)	۲۲۳ (۱۴/۶۸)	۲۳۴ (۱۹/۸۷)	
	مجموع	۱۸۵ (۵۲/۱۶)	۱۷۹ (۵۰/۴۵)	۱۷۴ (۵۰/۱۶)	۱۷۸ (۵۳/۴۷)	۱۷۹ (۴۸/۴۴)	۱۸۶ (۵۲/۴۹)	
F1	مرد	۲۴۳ (۶۲/۲۵)	۴۲۶ (۶۹/۶۱)	۵۸۲ (۶۳/۹۲)	۶۹۳ (۱۱۹/۷۴)	۴۰۴ (۸۰/۳۲)	۲۲۳ (۴۱/۸۳)	
	زن	۳۲۷ (۶۹/۸۷)	۴۵۷ (۱۱۸/۷۴)	۷۱۲ (۱۳۸/۲۵)	۷۵۹ (۱۷۳/۹۴)	۵۹۳ (۶۸/۲۹)	۳۳۵ (۷۱/۸۱)	
	مجموع	۲۸۵ (۷۷/۶۱)	۴۴۱ (۹۶/۸۸)	۶۴۷ (۱۲۴/۸۹)	۷۲۶ (۱۵۰/۴۷)	۴۹۸ (۱۲۰/۸۵)	۲۷۹ (۸۱/۱۱)	
F2	مرد	۷۱۳ (۱۱۲/۷۰)	۸۶۷ (۱۰۶/۲۶)	۹۹۹ (۸۳/۳۴)	۱۴۶۱ (۱۰۰/۴۲)	۱۸۶۰ (۲۵/۹۹)	۲۲۱۶ (۷۳/۱۸)	
	زن	۶۷۴ (۱۱۹/۲۲)	۸۹۰ (۱۹۴/۲۰)	۱۱۰۶ (۳۱۹/۰۶)	۱۵۳۷ (۱۴۲/۲۸)	۱۸۸۹ (۴۵۴/۹۰)	۲۴۸۲ (۹۹۲/۱۹)	
	مجموع	۶۹۴ (۱۱۵/۷۰)	۸۷۸ (۱۵۶/۴۲)	۱۰۵۲ (۱۷۱/۶۶)	۱۴۹۴ (۱۲۵/۹۹)	۱۸۷۴ (۳۱۶/۹۱)	۲۳۴۹ (۷۰۴/۳۴)	
F3	مرد	۳۰۸۱ (۲۵۵/۵۴)	۳۰۴۳ (۴۶۸/۳۶)	۲۷۱۳ (۳۸۸/۷۴)	۲۲۲۶ (۲۷۱/۰۳)	۲۴۱۵ (۱۶۱/۸۰)	۲۸۳۱ (۳۱۹/۵۹)	
	زن	۳۲۴۷ (۴۶۳/۰۹)	۲۴۶۹ (۹۷۴/۹۴)	۲۱۰۰ (۷۸۶/۵۸)	۲۰۶۶ (۳۸۹/۱۶)	۲۷۳۷ (۳۰۴/۹۲)	۳۴۳۱ (۲۸۲/۶۶)	
	مجموع	۳۱۶۴ (۳۷۷/۲۰)	۲۷۵۶ (۸۰۶/۲۵)	۲۴۰۷ (۶۸۴/۷۱)	۲۱۴۶ (۳۳۹/۴۲)	۲۵۷۶ (۲۹۰/۳۴)	۳۱۳۱ (۴۲۵/۴۲)	
دیرش	مرد	۱۸۵ (۴۴/۶۴)	۱۸۲ (۴۰/۷۹)	۱۹۷ (۴۴/۸۳)	۱۸۶ (۴۵/۱۸)	۱۷۵ (۴۶/۸۹)	۱۶۸ (۴۰/۲۸)	
	زن	۲۲۰ (۵۲/۶۵)	۲۱۷ (۵۱/۳۳)	۲۲۶ (۴۶/۳۰)	۲۱۰ (۴۵/۰۹)	۲۱۱ (۴۶/۲۶)	۲۲۲ (۵۵/۹۴)	
	مجموع	۲۰۲ (۵۱/۱۸)	۲۰۰ (۴۸/۸۰)	۲۱۱ (۴۷/۱۷)	۱۹۸ (۴۶/۰۰)	۱۹۳ (۴۹/۱۸)	۱۹۵ (۵۵/۲۴)	
شدت	مرد	۸۲/۰۰ (۳/۴۰)	۸۲/۹۳ (۲/۴۹)	۸۲/۷۲ (۲/۴۹)	۸۲/۲۰ (۳/۳۹)	۸۲/۸۷ (۲/۴۷)	۸۳/۸۷ (۲/۹۲)	
	زن	۸۰/۲۷ (۳/۱۳)	۷۹/۶۰ (۲/۲۹)	۷۹/۹۳ (۱/۹۴)	۷۹/۴۷ (۳/۰۰)	۷۸/۸۰ (۲/۲۷)	۸۱/۰۰ (۳/۰۷)	
	مجموع	۸۱/۶۳ (۳/۵۰)	۸۱/۲۷ (۳/۰۰)	۸۱/۳۳ (۲/۶۲)	۸۰/۸۳ (۳/۴۴)	۸۰/۸۳ (۳/۱۱)	۸۲/۴۳ (۳/۲۹)	

نتایج حاصل از اندازه‌گیری F1 در نمونه‌های آوایی گویشوران زن نشان می‌دهد، واکه /u/ کمترین و واکه /a/ بیشترین فرکانس را به خود اختصاص داده‌اند (F(84. 13027)=40. 183, P<0. 0001)، و در نمونه‌های آوایی گویشوران مرد واکه /i/ کمترین و واکه /a/ بیشترین

فرکانس را داشته‌اند ($F(84, 5890)=87.070, P<0.0001$). در مجموع، مقدار $F1$ در گروه زنان با درجه اطمینان ۹۵ درصد بیشتر از مردان بود ($t(178)=-3.501, P<0.001$) (جدول ۱).

نتایج $F2$ در نمونه‌های آوایی هردو گویشوران زن و مرد نشان داد که واکه /u/ کمترین و واکه /i/ بیشترین فرکانس را دارد و این مقادیر از نظر آماری معنادار، و به ترتیب در مردان ($F(5, 89)=680.016, P<0.0001$) و در زنان ($F(5, 89)=31.016, P<0.0001$)، بودند. آزمون تی-مستقل اختلاف معناداری بین $F2$ گویشوران زن و مرد حتی در تک‌تک واکه‌ها نشان نداد ($t(178)=-0.807, P=0.42$).

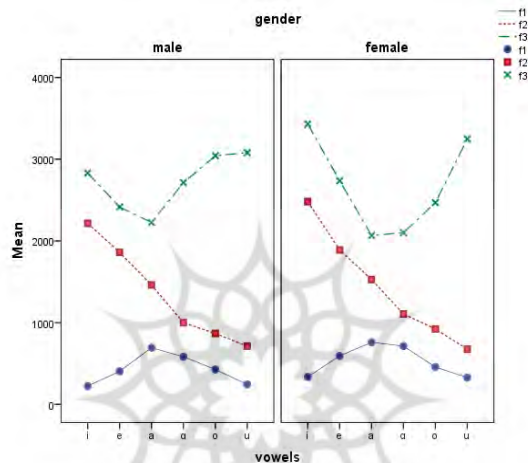
براساس مقادیر به‌دست‌آمده از فرکانس دو سازه اول واکه‌ها و به‌منظور درک دیداری بهتر آنها، فضای واکه‌ای برای هردو گروه مرد و زن و میانگین کلی ترسیم شد (شکل ۲). مساحت فضای واکه‌ای محاسبه شده در این شکل در گویشوران زن بیشترین مقدار (۸۸۳۹۷۱ هرتز مربع) نشان داده است. سپس مساحت مجموع (۸۲۸۱۸۳ هرتز مربع)، و نهایتاً فضای واکه‌ای گویشوران مرد (۵۸۲۵۶۹ هرتز مربع) کمترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل ۲- فضای واکه‌ای گویشوران زن و مرد فارسی‌زبان و میانگین کلی برحسب بارک

نتایج به‌دست‌آمده برای $F3$ نشان می‌دهند که در نمونه‌های آوایی گویشوران زن، واکه /a/ کمترین و واکه /i/ بیشترین سطح معناداری آماری را از خود نشان داده است ($F(5, 89)=14.064, P<0.0001$), اما در نمونه‌های آوایی گویشوران مرد واکه /a/ کمترین اما واکه /u/

بیشترین فرکانس را داشت که از نظر آماری معنادار بود ($F(5, 89) = 16.480, P < 0.0001$).
 آزمون تی-مستقل برای F3 مجموع بین گویشوران زن و مرد اختلاف معناداری نداشت (t
 در بررسی دیداری میانگین فرکانس‌های سازه‌های
 واکه‌های فارسی، نمودار خطی ترسیم شد (شکل ۳). با توجه به این نمودار، به‌طور کلی زنان
 فرکانس سازه‌های بالاتری نسبت به مردان داشتند.



شکل ۳- نمودار خطی فرکانس‌های سازه‌های اول، دوم و سوم واکه‌های زبان فارسی

کمترین دیرش واکه‌ها در نمونه‌های آوایی گویشوران زن براساس جدول ۱ به ترتیب /a/ و
 /e/ و بیشترین دیرش متعلق به واکه /a/ بود ($F(5, 89) = 0.239, P = 0.944$), ولی در نمونه‌های
 آوایی گویشوران مرد /i/ کمترین و /a/ بیشترین دیرش را داشت ($F(5, 89) = 0.770, P = 0.574$),
 که البته این تفاوت‌ها از نظر آماری معنادار نبود. در مجموع، دیرش واکه‌های زنان بیش
 از مردان بود ($t(178) = -5.137, P < 0.001$).

کمترین شدت واکه‌ها در نمونه‌های آوایی گویشوران زن، براساس جدول ۱، متعلق به واکه
 /e/ و بیشترین شدت متعلق به واکه /i/ بود ($F(5, 89) = 1.195, P = 0.319$), ولی در نمونه‌های
 آوایی گویشوران مرد، واکه /a/ کمترین و واکه /i/ بیشترین شدت را داشتند ($F(5, 89) = 0.525, P = 0.757$),
 اما این تفاوت‌ها از نظر آماری معنادار نبود. در حالت کلی، واکه‌های گویشوران

مرد در مقایسه با واکه‌های گویشوران زن شدت بیشتری را نشان می‌دهند. $F(1, 179) = 56. (302, P < 0.0001)$.

۲-۳- مقایسه ویژگی‌های آکوستیکی واکه‌های واضح گویشوران مرد فارسی و انگلیسی‌زبان

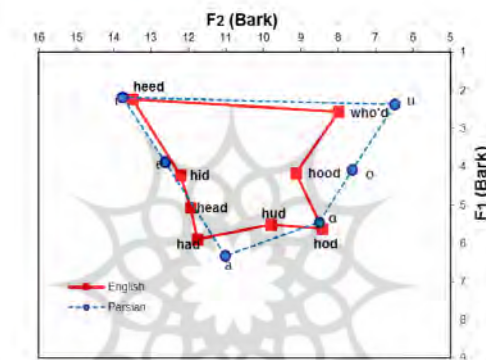
ویژگی‌های آکوستیکی هشت واکه ساده زبان انگلیسی تولیدشده توسط گویشور مرد (جدول ۲)، با مطالعات پژوهشگران دیگر در زبان انگلیسی با نمونه‌های بیشتر مطابقت دارد (لده‌فوغد و دیسنر، ۲۰۰۵؛ هیلنبرند و همکاران، ۱۹۹۵). مقایسه ویژگی‌های آکوستیکی واکه‌های واضح در دو زبان نشان داد که بیشترین فرکانس پایه متعلق به واکه /u/ در واژه Who'd و کمترین مربوط به واکه /i/ در واژه hid بود. بیشترین مقدار F0 در هر دو زبان تقریباً مشابه بود اما کمترین F0 در زبان انگلیسی با زبان فارسی تطابق نداشت. ضمناً در مجموع همه واکه‌ها، F0 مردان فارسی‌زبان بیشتر از F0 مرد انگلیسی‌زبان بود. بیشترین فرکانس سازه اول متعلق به /a/ در واژه had، و کمترین فرکانس سازه اول متعلق به واکه /i/ در واژه heed بود که هر دو با زبان فارسی تطابق داشت.

جدول ۲- میانگین و انحراف معیار فرکانس پایه، سازه‌های اول، دوم، سوم، دیرش و شدت واکه‌های

زبان انگلیسی توسط گویشور مرد (n=1)

	who'd	Hood	hod	hud	had	head	hid	Heed	
	۱۲۲	۱۰۶	۱۱۲	۱۱۱	۱۰۵	۱۰۶	۱۰۲	۱۰۴	F0
	(۱/۰۰)	(۱/۵۳)	(۱/۰۰)	(۳/۰۶)	(۱/۱۶)	(۲/۳۱)	(۲/۵۲)	(۱/۷۳)	
	۲۶۳	۴۳۴	۶۰۴	۵۹۰	۶۳۷	۵۳۷	۴۴۱	۲۲۸	F1
	(۵/۶۹)	(۷/۰۲)	(۵/۵۱)	(۹/۰۷)	(۱۳/۳۲)	(۸/۵۱)	(۲۲/۹۱)	(۴/۱۶)	
	۹۲۲	۱۲۴۱	۹۸۶	۱۲۱۹	۱۶۳۲	۱۶۷۵	۱۷۴۹	۲۱۱۴	F2
	(۶۴/۱۷)	(۳۴/۹۳)	(۳۰/۰۵)	(۳۸/۵۳)	(۱۷/۵۲)	(۳۰/۳۵)	(۱۱/۷۹)	(۲۱/۱۷)	
	۲۲۳۹	۲۵۵۶	۲۵۴۷	۲۶۸۵	۲۵۱۱	۲۵۶۰	۲۵۶۷	۳۰۷۱	F3
	(۴۷/۴۵)	(۳۳/۹۸)	(۳۸/۵۸)	(۴/۵۱)	(۴۵/۵۵)	(۵/۶۹)	(۲۱/۲۲)	(۶۰/۹۲)	
دیرش	۲۳۴	۱۸۵	۲۳۹	۲۰۸	۲۹۳	۱۷۸	۱۷۴	۲۷۱	
	(۱۰/۵۰)	(۷/۵۱)	(۱۳/۳۲)	(۱۷/۰۴)	(۱۶/۰۴)	(۴/۹۳)	(۱۲/۵۰)	(۱۹/۸۱)	
شدت	۷۰/۳۳	۷۰/۳۳	۷۰/۳۳	۶۸/۶۷	۶۷/۶۷	۶۹/۳۳	۶۷/۰۰	۶۴/۶۷	
	(۰/۵۸)	(۱/۱۶)	(۰/۵۸)	(۱/۱۶)	(۰/۵۸)	(۰/۵۸)	(۱/۰۰)	(۰/۵۸)	

واکه /i/ در واژه heed بیشترین فرکانس سازه‌های دوم و سوم، و /u/ در واژه Who'd کمترین فرکانس سازه‌های دوم و سوم را داشتند، که شبیه F2 فارسی هستند اما با F3 فارسی تفاوت دارند. در مجموع، فرکانس سازه‌های اول تا سوم در زبان انگلیسی بیشتر از زبان فارسی است. این نتایج نشان داد که فرکانس سازه‌های زبان فارسی با زبان انگلیسی تفاوت زیادی دارد. مقایسه فضای واکه‌ای مردان در دو زبان فارسی و انگلیسی در پژوهش حاضر نشان داد که فضای واکه‌ای گویشوران مرد فارسی‌زبان بزرگتر از فضای واکه‌ای گویشوران مرد انگلیسی‌زبان است (شکل ۴).

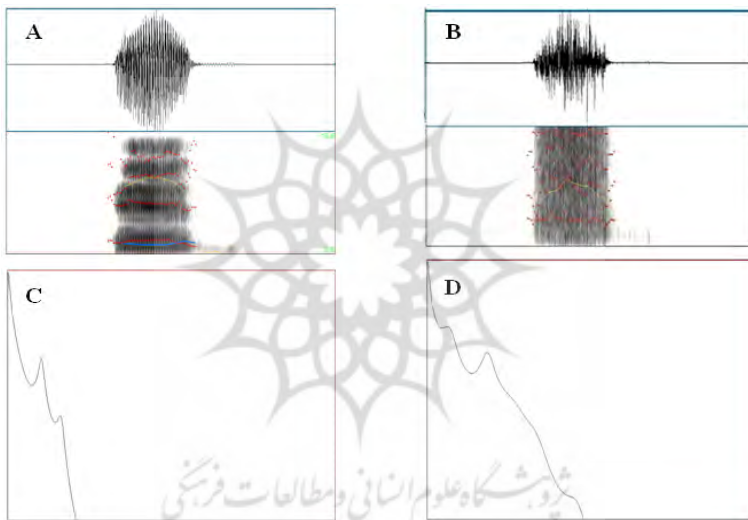


شکل ۴- مقایسه فضای واکه‌ای گویشوران مرد فارسی و انگلیسی‌زبان

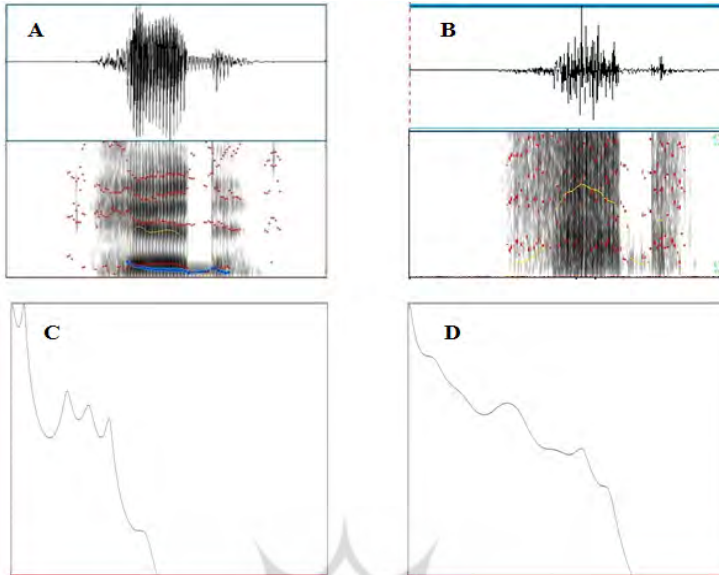
بیشترین دیرش واکه در زبان انگلیسی مربوط به واکه /a/ در واژه had و کمترین آن مربوط به واکه /i/ در واژه hid، به ترتیب برابر با ۲۹۳ و ۱۷۴ میلی‌ثانیه، بود. در حالی که این نتیجه در تطابق با دیرش واکه‌های زبان فارسی نیست. در فارسی بیشترین دیرش مربوط به واکه /a/ و کمترین مربوط به واکه /i/ بود. در مجموع، دیرش واکه‌های انگلیسی از واکه‌های فارسی بیشتر، اما شدت آنها کمتر است، به طوری که طبق جداول ۱ و ۲ بیشترین شدت در فارسی مربوط به واکه /i/ و کمترین شدت مربوط به واکه /a/ بود، در حالی که در انگلیسی واکه /i/ در واژه heed کمترین شدت را به خود اختصاص داد که در تضاد با زبان فارسی بود و بیشترین شدت متعلق به واکه‌های پسین در زبان انگلیسی بود.

۳-۳- ویژگی‌های آکوستیکی واکه‌های وُکودشده در گویشوران مرد فارسی و انگلیسی‌زبان

تفسیر شکل موج، طیف‌نگاشت و نمودار LPC واکه‌های واضح و وُکودشده در هردو زبان گویای تفاوت زیاد در بین ویژگی‌های آکوستیکی واکه‌های واضح و وُکود شده است (شکل‌های ۵ و ۶)، به‌طوری‌که در واکهٔ واضح، F_0 و سازه‌ها کاملاً قابل شناسایی است و نمودار LPC دارای قله‌های تیز است اما در واکه‌های وُکودشده F_0 و ساختار سازه‌ای قابل شناسایی نیست و نمودار LPC آن دارای قله‌های با وضوح کمتر، گردشده و دامنه‌های کمتر است.



شکل ۵- واکهٔ واضح و وُکودشدهٔ /hed/ در زبان فارسی. A: موج صوتی و طیف‌نگاشت در حالت واضح، B: موج صوتی و طیف‌نگاشت در حالت وُکودشده، C: LPC در حالت واضح، D: LPC در حالت وُکودشده.



شکل ۶- واژه واضح و وکودشده /hid/ در زبان انگلیسی. A: موج صوتی و طیف‌نگاشت در حالت واضح، B: موج صوتی و طیف‌نگاشت در حالت وکودشده، C: نمودار LPC در حالت واضح، D: نمودار LPC در حالت وکودشده.

در جدول ۳ مقادیر دیرش و شدت واژه‌های وکودشده فارسی و انگلیسی مقایسه شده است.

جدول ۳- مقادیر دیرش و شدت واژه‌های فارسی و انگلیسی گویشوران مرد در حالت‌های واضح و وکودشده

انگلیسی							فارسی					واضح	NV-4	2, 3		
Who'd	Hood	Hod	Hud	Had	Hcad	Hid	Hced	hud	Hod	had	had				hed	hid
۲۳۴	۱۸۵	۲۳۹	۲۰۸	۲۹۳	۱۷۸	۱۷۴	۲۷۱	۱۸۲	۱۸۵	۱۸۶	۱۹۷	۱۷۵	۱۶۸	واضح	NV-4	2, 3
۲۶۹	۱۷۱	۱۷۱	۲۸۶	۲۰۲	۲۲۸	۱۸۲	۲۲۲	۱۸۲	۱۷۵	۱۸	۱۸۰	۱۷۰	۱۶۲	NV-		
۲۶۹	۱۷۲	۱۷۲	۲۹۲	۲۰۴	۲۲۸	۱۸۵	۲۲۳	۱۶۰	۱۶۷	۱۸	۱۸۸	۱۷۶	۱۸۰	NV-		
۲۶۹	۱۷۲	۱۷۳	۲۹۲	۲۰۶	۲۲۹	۱۸۵	۲۲۴	۱۶۱	۱۶۸	۱۸	۱۸۷	۱۷۶	۱۸۰	NV-		
۶۵	۶۷	۶۹	۶۸	۶۹	۷۰	۷۰	۷۰	۸۴	۸۳	۸۳	۸۲	۸۳	۸۳	واضح	NV-4	3
۷۶	۷۸	۷۸	۷۶	۷۷	۷۴	۷۷	۷۷	۷۳	۷۴	۷۵	۷۵	۷۴	۷۳	NV-		
۷۸	۷۸	۷۷	۷۶	۷۸	۷۵	۷۷	۷۷	۷۵	۷۶	۷۶	۷۵	۷۵	۷۴	NV-		
۸۰	۸۰	۸۰	۷۶	۷۹	۷۷	۷۹	۷۷	۷۳	۷۶	۷۶	۷۷	۷۵	۷۳	NV-		

NV-4= وکود چهار باند. NV-10= وکود ده باند. NV-20= وکود بیست باند

براساس نتایج جدول ۳، به‌رغم آنکه دیرش واژه‌های وکودشده در زبان فارسی نسبت به حالت واضح هیچ تغییری نکرد ($t(89)=-1.102, P=0.273$)، اما شدت آنها کاهش یافت که

این تغییر از نظر آماری معنادار بود ($t(89)=21.1, P<0.001$). در زبان انگلیسی نیز دیرش واکه‌ها در حالت وُکودشده نسبت به حالت واضح هیچ تغییری نکرد اما شدت آنها افزایش یافت.

۴- بحث

براساس یافته‌های این پژوهش، F_0 واکه‌های زبان فارسی در گروه زنان بیشتر از گروه مردان بود ($P<0.01$), در گویشوران زن و مرد بیشترین F_0 به ترتیب مربوط به واکه $/i/$ و سپس با اختلاف بسیار اندکی مربوط به واکه $/u/$ و کمترین F_0 مربوط به واکه $/a/$ بود. بیشترین F_0 واکه‌های زبان انگلیسی مشابه زبان فارسی بوده است اما کمترین F_0 در دو زبان تطابق نداشته‌اند. با وُکودکردن واکه‌ها در هردو زبان فارسی و انگلیسی، F_0 قابل اندازه‌گیری وجود نداشت. بیشترین فرکانس سازه اول در گویشوران زن و مرد در این پژوهش $/a/$ و کمترین آن به ترتیب $/u/$ و $/i/$ بود. در پژوهش حاضر، بیشترین و کمترین F_1 در زبان انگلیسی مشابه زبان فارسی بود. با وُکودکردن واکه‌ها در هردو زبان فارسی و انگلیسی، F_1 قابل اندازه‌گیری وجود نداشت. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش برای F_2 در هردو گویشوران زن و مرد نشان داد که واکه $/i/$ بیشترین و واکه $/u/$ کمترین فرکانس را داراست. بیشترین F_2 در زبان انگلیسی مشابه زبان فارسی در پژوهش حاضر بود، اما کمترین F_2 متفاوت بود. در زبان فارسی فضای واکه‌ای گویشوران زن بیشتر از گویشوران مرد به‌دست آمد. فضای واکه‌ای انگلیسی در شش واکه انگلیسی مشابه با واکه‌های فارسی در گویشور مرد کمتر از فضای واکه‌ای زبان فارسی در گویشوران مرد به‌دست آمد. با وُکودکردن واکه‌ها در هردو زبان فارسی و انگلیسی، F_2 قابل اندازه‌گیری وجود نداشت. F_3 در گویشوران زن نشان داد که واکه $/a/$ کمترین فرکانس و واکه $/i/$ بیشترین فرکانس را دارد و برای گویشوران مرد کمترین فرکانس مربوط به واکه $/a/$ و بیشترین فرکانس مربوط به واکه $/u/$ بود. بیشترین و کمترین F_3 در واکه‌های زبان‌های فارسی و انگلیسی هیچ تطابقی نداشت. با وُکودکردن واکه‌ها در هردو زبان فارسی و انگلیسی، F_3 قابل اندازه‌گیری وجود نداشت. اندازه‌گیری دیرش واکه‌ها در این پژوهش نشان داد که دیرش واکه‌های $/a/$ و سپس با اختلاف بسیار اندکی $/e/$ کمترین، و دیرش واکه $/a/$ در گویشوران زن بیشترین بود. دیرش واکه‌های $/i/$ و $/a/$ به ترتیب کمترین و بیشترین برای گویشوران مرد به‌دست آمد. مقایسه دیرش واکه‌های فارسی و مشابه آنها در انگلیسی در پژوهش حاضر نشان

داد که اولاً دیرش واکه‌های زبان انگلیسی بیشتر از زبان فارسی است و ثانیاً کمترین دیرش واکه در دو زبان متفاوت است، به‌رغم آنکه بیشترین دیرش در هردو زبان متعلق به گروه واکه‌های کشیده است. با وُکودشدن واکه‌ها در هردو زبان فارسی و انگلیسی، دیرش هیچ تغییری نکرد. اندازه‌گیری شدت واکه‌های فارسی در پژوهش حاضر نشان داد که در هردو گویشوران زن و مرد، واکه /i/ بیشترین شدت را داشت، اما واکه /e/ در زنان و واکه /a/ در مردان کمترین شدت را دارا بود. در حالت مجموع، واکه‌های گویشوران مرد شدت بیشتری نسبت به واکه‌های گویشوران زن داشت. برخلاف زبان فارسی، در گویشور مرد انگلیسی‌زبان، واکه /i/ کمترین شدت و واکه‌های پسین بیشترین شدت را داشتند. به‌طور کلی، شدت واکه‌های گویشوران مرد فارسی‌زبان از شدت واکه‌های گویشور مرد انگلیسی‌زبان بیشتر بود. با وُکودشدن، شدت واکه‌های فارسی کاهش، اما شدت واکه‌های انگلیسی افزایش یافت.

FO با زیر و بمی صوت ارتباط دارد. بدین معنا که صدای زیر با FO بالا و صدای بم با FO پایین در ارتباط است. واکه‌های باز، FO پایین‌تری نسبت به واکه‌های بسته دارند (تیتز^۱، ۱۹۸۹؛ والن^۲ و لویت^۳، ۱۹۹۵). با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده در این پژوهش، فرکانس پایه واکه‌های ساده نیز از الگویی مشابه پیروی می‌کند. تفاوت بین زیربومی فرکانس‌ها در گویشوران زن و مرد تحت تأثیر تفاوت فیزیولوژیکی این گویشوران است. تاراواها در مردان طولانی‌تر از زنان است و به همین دلیل آواها در مردان فرکانس پایه پایین‌تری دارند (لهیسته^۴ و پیترسون^۵، ۱۹۶۱؛ علی‌نژاد و حسینی‌بالام، ۱۳۹۲). این موضوع در تحلیل آواهای به‌دست‌آمده نیز صادق است. براساس نتایج پژوهش حاضر، مطابق با پژوهش بی‌جن‌خان (۱۳۶۹) که واکه‌ها را در بافت /hVd/ استفاده کرده، و فشندکی (۱۳۹۰) که واکه‌ها را در بافت /cVb/ و فقط گویشوران زن استفاده کرده بود، واکه /u/ بیشترین میزان فرکانس پایه را داشت. همان‌طور که انتظار می‌رفت، در بین افراد یک جنس اختلاف معناداری به‌دست نیامد زیرا تولید FO فقط وابسته به طول تاراواهاست. نتایج پژوهش حاضر نیز در مورد واکه‌های زبان انگلیسی امریکایی همسو با نتایج هیلنبرند و همکاران (۱۹۹۵) است که بیشترین میزان FO در واکه‌های زبان انگلیسی‌آمریکایی

-
1. I. R. Titze
 2. D. H. Whalen
 3. A. G. Levitt
 4. I. Lehiste
 5. G. E. Peterson

متعلق به واکه /u/ است. در مجموع، F0 فارسی بیشتر از F0 انگلیسی بود. براساس پژوهش جیانگ پینگ^۱ (۲۰۰۲) که به بررسی تأثیر نژاد بر سازه‌های واکه‌های انگلیسی در بافت /hVd/ پرداخته است، نژاد باعث تفاوت اندازه‌های حفره‌های گویایی در افراد و نیز منجر به تغییر سازه‌های واکه‌ها می‌شود.

F1 با ارتفاع زبان رابطه عکس دارد، بنابراین هرچه از ارتفاع زبان کاسته شود، فرکانس سازه‌های اول افزایش خواهد یافت. نتایج پژوهش حاضر ضمن تأیید این گفته، در تطابق با یافته‌های پژوهشی بی‌جن‌خان (۱۳۶۹)، صالحی و همکاران (۱۳۸۷) در پژوهش‌های خود بر روی گویشوران زن و مرد، و انصارین (۲۰۰۴) و فشندکی (۱۳۹۰) بر روی گویشوران زن بود. همچنین یافته‌های این پژوهش درباره F1 با یافته‌های صالحی و همکاران (۱۳۸۷) و بی‌جن‌خان (۱۳۹۲)، مبنی بر اینکه F1 اول زنان بیشتر از مردان است، همسو است.

F2 بالا با مشخصه پیشین و F2 پایین با مشخصه پسین واکه‌ها در ارتباط است (هیوارد^۲، ۲۰۰۰؛ لده‌فوغد، ۲۰۰۶). نتایج پژوهش حاضر درخصوص F2 با مطالعات بی‌جن‌خان (۱۳۶۹)، انصارین (۲۰۰۴) و فشندکی (۱۳۹۰) در بررسی واکه‌های فارسی همسو است. در پژوهش صالحی و همکاران (۱۳۸۷) و بی‌جن‌خان (۱۳۹۲) بر روی واکه‌های زبان فارسی، فرکانس سازه‌های دوم گروه مردان نیز پایین‌تر از گروه زنان گزارش شده است، که مطابق با نتایج پژوهش حاضر است. به‌طورکلی، نویسندگان این مقاله نیز، موافق با نتایج مطالعات قبلی، فرکانس سازه‌های اول و دوم واکه‌های مشابه در زبان‌های مختلف را از هم متفاوت می‌دانند (علی‌نژاد و حسینی‌بالام، ۱۳۹۲؛ مدرسی‌قوامی، ۱۳۹۲).

در این پژوهش نشان داده شد که فضای واکه‌های زنان بیشتر از مردان است. سیمسون^۳ (۲۰۰۰) بیان داشت تفاوت فضای واکه‌های مردان و زنان (فضای واکه‌های زنان بزرگتر از مردان) دلایل متفاوتی دارد، از جمله: دلایل آناتومی و همچنین آواشناسی اجتماعی ارتباط بین F0 و فرکانس سازه‌ها. هرچه تعداد واکه‌های یک زبان بیشتر باشد، فضای واکه‌های آکوستیکی آن زبان بزرگتر است. مقایسه فضای واکه‌های در کل F1 و F2 شش واکه در دو زبان فارسی و انگلیسی مشابه است و تفاوت بیشتر در واکه‌های پسین و افتاده مشاهده می‌شود (علی‌نژاد و

1. H. Jianping
2. K. Hayward
3. A. P. Simpson

حسینی‌بالام، ۱۳۹۲). در پژوهش حاضر، برخلاف نظر علی‌نژاد و حسینی‌بالام (۱۳۹۲)، فضای واکه‌ای انگلیسی در شش واکه مشابه فارسی، کمتر از فضای واکه‌ای زبان فارسی به‌دست آمد، اما با نظر موافق، تفاوت در واکه‌های پسین وجود دارد. شکل فضای واکه‌ای زبان فارسی مطابق با پژوهش محمدی و همکاران (۱۳۹۰) به‌دست آمد.

در پژوهش حاضر، واکه‌های /a/ و /i/ به‌ترتیب کمترین و بیشترین میزان F3 را به خود اختصاص داده‌اند که همسو با یافته‌های فشندکی (۱۳۹۰) است. F3 واکه‌های زبان انگلیسی در این پژوهش مطابقتی با F3 واکه‌های زبان فارسی نداشت و این مطابق با یافته‌های زبان انگلیسی در مطالعات قبلی است. به‌طور کلی زنان فرکانس سازه‌ای بالاتری نسبت به مردان دارند و این نتیجه همسو با نظرات پترسون و بارنی^۱ (۱۹۵۲)، هیلنبرند و همکاران (۱۹۹۵) و بی‌جن‌خان (۱۳۹۲) است.

در تحقیق پیش‌رو، فاصله F1 و F2 واکه /i/ بسیار زیاد اما فاصله F2 و F3 آن کم بود. در واکه /e/ فاصله F1 و F2 نسبت به واکه /i/ کمتر است چون F1 افزایش و F2 کاهش یافته است، و فاصله F2 با F3 بیشتر است، که این نتایج همسو با مطالعه علی‌نژاد و حسینی‌بالام (۱۳۹۲) است. درخصوص واکه /a/ انتظار می‌رود که با پایین‌آمدن زبان در این واکه پسین افتان، F1 و F3 افزایش و F2 کاهش یابد که در پژوهش حاضر نیز همین نتیجه به‌دست آمده است. F2 واکه /u/ به‌عنوان یک واکه پسین افراشته نسبت به همتای پیشین خود یعنی /i/، به دلیل گردی لب‌ها افت قابل ملاحظه‌ای داشت. در واکه /o/، مشابه واکه /u/، به دلیل گردی لب‌ها افت F2 نسبت به همتای پیشین آن یعنی /e/ به‌دست آمد. F1 و F3 واکه /a/ به‌عنوان یک واکه پسین افتاده با همتای پیشین خود یعنی /a/ افزایش، اما F2 آن کاهش یافت، که این نتایج با علی‌نژاد و حسینی‌بالام (۱۳۹۲) در تطابق است.

مطالعات محدودی ویژگی‌های دیرش واکه‌ها و همچنین بررسی‌های بسیار محدودتر، ویژگی‌های شدت واکه‌ها را بررسی کرده‌اند. کشیده‌ترین واکه فارسی در گویشوران زن همسو با مطالعه فشندکی (۱۳۹۰) است اما کمترین دیرش در مطالعه فشندکی و همکاران متعلق به واکه /o/ است که با مطالعه حاضر یکسان نیست. بی‌جن‌خان (۱۳۶۹)، در رابطه با بررسی دیرش واکه‌های ساده بیان می‌کند که واکه /a/ کشیده‌ترین واکه و واکه‌های /o/ و /e/ کوتاه‌ترین‌اند. در

مطالعه حاضر، دیرش /a/ = ۲۲۶ میلی‌ثانیه، در پژوهش بی‌جن‌خان (۱۳۶۹) دیرش /a/ = ۳۰۰ میلی‌ثانیه، و در پژوهش فشندکی (۱۳۹۰)، دیرش /a/ = ۲۹۱ میلی‌ثانیه بود، که در مجموع دیرش واکه‌ها در مطالعه حاضر کمتر از مطالعات قبلی به‌دست آمد. اما دیرش واکه‌های زنان بیش از مردان بود. واکه‌های باز در حالت عادی کشیده‌تر از واکه‌های بسته‌اند و این نتیجه همسو با نتایج مطالعات لهیسته و پترسون (۱۹۶۱)، لده‌فوگد (۲۰۰۶) و مدرسی‌قوامی (۱۳۹۳) است. در بسیاری از پژوهش‌ها کوشیده‌اند دلیل تفاوت دیرش در گروه مردان و زنان را با استفاده از آواشناسی اجتماعی توضیح دهند که واکه‌های کشیده‌تر و میزان دیرش بیش‌تر، با گفتار واضح‌تر، یعنی گفتار زنان ارتباط دارند (هنتون^۱ و همکاران، ۱۹۹۵؛ سیمسون و اریک‌دوتر^۲، ۲۰۰۳). هیلنبرند و همکاران (۱۹۹۵) نیز در پژوهش خود به این تفاوت دیرشی در مردان و زنان اشاره کرده‌اند. یکی دیگر از دلایل تفاوت در دیرش‌های به‌دست‌آمده می‌تواند مربوط به بافت واکه باشد زیرا دیرش واکه تحت تأثیر همخوان بی‌واک کمتر و در مجاورت با همخوان‌های واک‌دار طولانی‌تر می‌شود (مرمل‌شتاین^۳، ۱۹۷۸). در مجموع، دیرش واکه‌های انگلیسی از واکه‌های فارسی در پژوهش حاضر بیشتر بود که مربوط به ساختار تولیدی زبان است. با وُکودشدن واکه، در هردو زبان هیچ تغییری در دیرش به وجود نیامد. همان‌طور که در نحوه ساخت واکه‌های وُکودشده توضیح داده شد، چون دیرش دستکاری نمی‌شود و پوش سیگنال دست نخورده باقی است، بدیهی است که انتظار می‌رود پس از وُکودشدن نیز اختلافی بین دیرش واکه‌های واضح و وُکودشده دیده نشود.

در پژوهش حاضر، بیشترین شدت واکه‌های فارسی در گویشوران زن ۸۱ دسی‌بل و کمترین میزان آن ۷۸/۸ دسی‌بل به‌دست آمد. در گویشوران مرد بیشترین شدت واکه‌ها ۸۳/۹ دسی‌بل و کمترین شدت ۸۲/۲ دسی‌بل به‌دست آمد که این یافته همسو با مطالعات قبلی نیست. مقادیر شدت در پژوهش فشندکی (۱۳۹۰) به ترتیب ۷۲/۶ دسی‌بل و ۷۵/۲ دسی‌بل بود، که کمترین شدت واکه مطابق با نتیجه پژوهش حاضر است. شدت واکه‌های گویشوران مرد از گویشوران زن بیشتر بود. در پژوهش حاضر، شدت واکه‌های فارسی از واکه‌های انگلیسی بیشتر بود. فرینکس^۴

1. C. Henton
2. C. Ericsson
3. P. Mermelstein
4. G. Fairbanks

و همکاران (۱۹۵۰) بیان داشتند که شدت واکه‌های /u/، /e/ و /o/ به نسبت شدت واکه‌های /i/، /a/ و /a/ بیشتر است. علاوه بر تفاوت بافت و گویش، به نظر می‌رسد که دلیل این تفاوت، اختلاف اندک در میزان شدت در بین واکه‌های مختلف در پژوهش حاضر باشد. زیرا اختلاف بیشترین و کمترین شدت در پژوهش حاضر در حدود ۲ دسی‌بل است، درحالی‌که در مطالعات قبلی بین ۱۰-۸ دسی‌بل بوده است. با وُکودشدن واکه در زبان فارسی در هر سه حالت چهار و ده و بیست باند، شدت کاهش یافته است اما در زبان انگلیسی شدت افزایش یافته است. برای وُکودکردن سیگنال لازم است فیلترهای مختلفی بر سر راه سیگنال صوتی اعمال شوند تا ساختار ظریف آن از بین برود، گرچه نهایتاً نرمالیزیشن صورت می‌گیرد اما این امر موجب تضعیف سیگنال می‌شود، همچنان که در زبان فارسی صورت گرفته است. به نظر می‌رسد دلیل احتمالی افزایش شدت در واکه‌های زبان انگلیسی مربوط به تفاوت شدت آنها با زبان فارسی در حالت واضح باشد و چون مطالعات قبلی در این زمینه وجود ندارد نمی‌توان مقایسه‌ای هم انجام داد و پژوهش‌های گسترده‌تری مورد نیاز است. با این حال در مجموع، سیگنال گفتاری وُکودشده دارای پوش دست نخورده اما بدون فرکانس پایه و سازه‌هاست؛ همچنان که در پژوهش حاضر در نمودارهای طیف‌نگاشت و LPC قابل مشاهده بود.

ارزش ساخت محرک‌های گفتاری وُکودشده در هر زبانی و دانستن ویژگی‌های آکوستیکی آن در مطالعات شبیه‌سازی‌شده در حیطه‌های سایکواکوستیک، فیزیولوژی و پردازش گفتار، و در مطالعات بالینی بسیار زیاد است. همچنان‌که نتایج پژوهش حاضر نشان داد، محرک‌های گفتاری واضح و وُکودشده، از نظر طیفی متفاوت هستند، اما به دلیل تشابه مشخصه‌های زمانی که دارای پوش یکسان هستند، ویژگی‌های مشترکی در بازنمایی‌های عصبی‌شان وجود دارد. گفتار واضح در سیستم عصبی مرکزی، اساساً توسط اطلاعات فرکانسی پردازش می‌شود، و با وجود مدار عصبی، بازشناسی گفتار با کدشکنی سیگنال‌های گفتاری از اطلاعات فرکانسی رمزگذاری‌شده در سیستم عصبی، صورت می‌گیرد. بنابراین برای سیستم عصبی مرکزی بسیار مشکل است که بدون اطلاعات فرکانسی، سیگنال‌های گفتاری کدشکنی شوند. اما واقعیت این است که سیستم شنوایی قادر است حتی زیرویمی محرک‌های گفتاری فاقد اطلاعات فرکانسی را دریافت کند. در سیستم عصبی مرکزی، سیگنال‌های گفتاری همچنین از نظر اطلاعات پوش دامنه نیز رمزگذاری می‌شوند، اما استفاده نمی‌شوند. مسئله مهم این است که یک شبکه عصبی

مورد نیاز است تا با استفاده از اطلاعات پوش دامنه، سیگنال‌های وُکودشده را به اصوات گفتاری قابل‌فهم ترجمه کند. بنابراین نیاز به پلاستیسیته در سیستم عصبی مرکزی برای پردازش سیگنال‌های وُکود شده است. انتظار می‌رود نواحی که در پردازش اصوات گفتاری واضح دخیل نیستند، در پردازش سیگنال‌های وُکودشده مشارکت داشته باشند. مطالعات اخیر به وسیلهٔ fMRI نشان داده‌اند که علاوه بر قشر گیجگاهی که به‌طور معمول در پردازش اصوات گفتاری واضح دخالت دارد، قشرهای پیشانی و آهیانه‌ای نیز در پردازش سیگنال‌های وُکودشده دخیل می‌شوند (ریکی‌مور، ۲۰۰۶).

از آنجا که ساخت وُکود واژه‌های زبان فارسی برای اولین بار در این پژوهش انجام شده است، بالطبع تمام نتایجی که از آن و همچنین مقایسه با واژه‌های زبان انگلیسی به‌دست آمده، به عنوان اولین پژوهش مطرح است و نتایج آن را نمی‌توان تعمیم داد و اثبات نتایج این مطالعه متکی بر پژوهش‌های گسترده آینده خواهد بود.

۵- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر، ویژگی‌های آکوستیکی واژه‌های زبان فارسی را توصیف کرده و نشان داده است که با زبان انگلیسی متفاوت است. نتایج وُکودکردن واژه‌های زبان فارسی، و همچنین مقایسهٔ مقدماتی آن با واژه‌های زبان انگلیسی، برای نخستین بار مطرح شد. همچنین تفاوت‌های طیفی واژه‌های فارسی وُکودشده نسبت به واژه‌های واضح آشکار شد.

۶- سپاسگزاری

- مقاله حاضر بخشی از پژوهش پایان‌نامهٔ دکتری در دانشکده علوم توانبخشی دانشگاه علوم پزشکی ایران، و دارای تأییدیه از کمیتهٔ اخلاق به شماره ۱۳۰/۸۴۱/د ۹۲ است.
- از کمک‌های پروفیسور رابرت شانون و دکتر جان ویگونسکی از دانشگاه کالیفرنیا و پروفیسور متیو دیویس از دانشگاه کمبریج برای ساخت سیگنال‌های وُکودشده، کمال سپاسگزاری را می‌نمایم.

منابع

- بی‌جن‌خان، محمود. (۱۳۶۹). تجزیه و تحلیل صوتی واکه‌های ساده و مرکب زبان فارسی براساس نظریه فانت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- بی‌جن‌خان، محمود. (۱۳۹۲). نظام آوایی زبان فارسی. تهران: سمت.
- سپنتا، ساسان. (۱۳۷۷). آواشناسی فیزیکی زبان فارسی (توصیف مشخصه‌های صوت شناختی واج‌های زبان فارسی). اصفهان: نشر گل‌ها.
- صالحی، فرانک، اکبر بهرامی، فرهاد ترابی‌نژاد، و محمد کمالی. (۱۳۸۷). «ساختار سازه‌ای واکه‌های زبان فارسی در دانش آموزان ۷ تا ۹ ساله عادی و مبتلا به افت شنوایی متوسط و شدید شهر اصفهان». *شنوایی‌شناسی*، ۱۷، ۵۷-۴۲.
- عادل‌قهرمان، منصوره. صدایی، مهین. فتاحی، جمیله. محمدخانی، قاسم. (۱۳۸۵). فرهنگ جامع شنوایی‌شناسی. تهران: دانش‌فریار.
- علی‌نژاد، بتول و فهمیه حسینی‌بالام. (۱۳۹۲). مبانی آواشناسی آکوستیکی. اصفهان: دانشگاه اصفهان.
- فشندکی، شهره. (۱۳۹۰). بررسی صوت‌شناختی (آکوستیکی) واکه‌های ساده زبان فارسی معیار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه الزهراء.
- محمدی، هیوا. محمدی، ریحانه. ترابی‌نژاد، فرهاد و منصور رضایی. (۱۳۹۰). «تعیین ساختار سازه‌ای و فضای واکه‌ای در واکه‌های زبان فارسی». *شنوایی‌شناسی*، ۲۰(۲)، ۸۵-۷۹.
- مدرسی‌قوامی، گلناز. (۱۳۹۲). آواشناسی: بررسی علمی گفتار. تهران: سمت.
- مدرسی‌قوامی، گلناز. (۱۳۹۳). «نگاهی دیگر به ویژگی‌های صوت‌شناختی واکه‌های کوتاه و بلند در زبان فارسی». *پژوهش‌های زبان‌شناسی تطبیقی*، ۸، ۹-۱.

Ansarin, Ali Akbar, (2004). "An acoustic analysis of modern Persian vowels". Paper presented at the SPECOM'2004: 9th Conference Speech and Computer September 20-22, St. Petersburg, Russia.

Baken, R. J., Orlikoff, R. F. (2000). *Clinical measurement of speech and voice*. California: Singular Thomson Learning.

Behrman, A. (2007). *Speech and voice science*. San Diego: Plural Pub.

- Bijankhan, M. (2000). "Farsi vowel compensatory lengthening: an experimental approach". *The Fifth International Conference on Spoken Language Processing*, Beijing, China.
- Boersma, P., Weenink, D. (2007). *Praat: doing phonetics by computer* Retrieved on July 27, 2007, 34.
- Chen, F. (2012). "Predicting the intelligibility of cochlear-implant vocoded speech from objective quality measure". *Journal of Medical and Biological Engineering*. 32, 189-94.
- Chen, F., Loizou, P. C. (2011). "Predicting the intelligibility of vocoded speech". *Ear and hearing*. 32(3), 331-38.
- Cho, T., Ladefoged, P. (1999). "Variation and universals in VOT: evidence from 18 languages". *Journal of Phonetics*. 27(2), 207-29.
- Ellermeier, W., Kattner, F., Ueda, K., Doumoto, K., Nakajima, Y. (2012). "Effects of noise-vocoded speech in the irrelevant-sound paradigm". In 38. *Jahrestagung für Akustik-DAGA 2012*. Galrev: Berlin, 336
- Fairbanks, G., House, A. S., Stevens, E. L. (1950). "An experimental study of vowel intensities". *Journal of the Acoustical Society of America*. 22(4), 457-59.
- Fu, Q. J., Shannon, R. V. (1999). "Effects of electrode configuration and frequency allocation on vowel recognition with the Nucleus-22 cochlear implant". *Ear and hearing*. 20(4), 332-44.
- Greenwood, D. D. (1990). "A cochlear frequency-position function for several species-29 years later". *Journal of the Acoustical Society of America*. 87(6): 2592-605.
- Hayward, K. (2000). *Experimental phonetics*. London: Longman.
- Henton, C., Elenius, K., Branderud, P., (1995). "Cross-language variation in the vowels of female and male speakers": *The 13th international congress of phonetic sciences*. Vol.4, 420-423.
- Hervais-Adelman, A. G., Davis, M. H., Johnsrude, I. S., Taylor, K. J., Carlyon, R. P. (2011). "Generalization of perceptual learning of vocoded speech". *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*. 37(1), 283-95.
- Hillenbrand, J., Getty, L. A., Clark, M. J., Wheeler, K. (1995). "Acoustic characteristics of American English vowels". *Journal of the Acoustical Society of America*. 97(5 Pt 1), 3099-111.

- Jianping H. (2002). *Cross-Racial Studies of Human Vowel Tract Dimensions and Formant Structures*. Ph.D. dissertation, Ohio State University.
www.ohiolink.edu.
- Kent, R. D., & Kim, Y. (2008). Acoustic analysis of speech. In M. J. Ball, M. R. Perkins, N. Muller & S. Howard (eds.), *The Handbook of Clinical Linguistics*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Ladefoged, P and Disner, S. F. (2005). *Vowels and consonants*, 2nd ed., Oxford: Wiley-Blackwell.
- Ladefoged, P. (2006). *A course in phonetics*, 5th ed., Boston: Thomson Wadsworth.
- Lea, W. A. (1973). "Segmental and suprasegmental influences on fundamental frequency contours, Consonant types and tones". In Hyman, L M., editor. *Consonant types and tones*. Los Angeles: Linguistics Program, University of Southern California. 15-70.
- Lehiste, I., Peterson, G. E. (1961). "Transitions, glides, and diphthongs". *Journal of the Acoustical Society of America*, 33(3), 268-77.
- Licklider, J. C. R., Pollack, I. (1948). "Effects of differentiation, integration, and infinite peak clipping upon the intelligibility of speech". *Journal of the Acoustical Society of America*, 20(1), 42-51.
- Liu, C., Azimi, B., Tahmina, Q., Hu, Y. (2012). "Effects of low harmonics on tone identification in natural and vocoded speech". *Journal of the Acoustical Society of America*, 132(5), 378-84.
- Mermelstein, P. (1978). "Difference limens for formant frequencies of steady-state consonant-bound vowels", *J Acoust Soc Am*. 63, 572-80.
- Mildner, V. (2008). *The cognitive neuroscience of human communication*. New York: Taylor & Francis.
- Peterson, G. E, Barney, H. L. (1952). "Control methods used in a study of the vowels". *Journal of the Acoustical Society of America*. 24(2),175-84.
- Riquimaroux, H. (2006). "Perception of noise-vocoded speech sounds: Sentences, words, accents and melodies". *Acoustical Science and Technology*, 27(6), 325-31.
- Rosen, S. (1992). "Temporal information in speech: acoustic, auditory and linguistic aspects". *Philosophical transactions of the Royal Society of London Series B, Biological sciences*, 336(1278), 367-73.

- Schwartz, K. C., Chatterjee, M. (2012). "Gender identification in younger and older adults: use of spectral and temporal cues in noise-vocoded speech". *Ear and hearing*, 33(3), 411-20.
- Scott S. K. (2005). "The neurobiology of speech perception". In: Cutler A, editor. *Twenty-First Century Psycholinguistics: Four Corner Stones*. 1st ed. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates. 141-157.
- Shannon, R. V., Zeng, F. G., Kamath, V., Wygonski, J., Ekelid, M. (1995). "Speech recognition with primarily temporal cues". *Science*, 270(5234), 303-4.
- Shannon, R. V., Zeng, F. G., Wygonski, J. (1998). "Speech recognition with altered spectral distribution of envelope cues". *Journal of the Acoustical Society of America*. 104(4), 2467-76.
- Simpson, A. P. (2000). "Gender-specific differences in the articulatory and acoustic realization of interword vowel sequences in American English". *5th Seminar on Speech Production: Models and Data Kloster Seeon*.
- Simpson, A. P., Ericsson, C. (2003). "Sex-specific durational differences in English and Swedish". *Proceedings of 15th ICPhS*, (1113-1116) Barcelona.
- Titze, I. R. (1989). "Physiologic and acoustic differences between male and female voices". *Journal of the Acoustical Society of America*, 85(4), 1699-1707.
- Ueda, K., Nakajima, Y. (2008). "A consistent clustering of power fluctuations in British, English, French, German, and Japanese". *Trans Tech Comm Psychol Physiol Acoust*, 38(8), 771-76.
- Whalen, D. H., Levitt, A. G. (1995). "The universality of intrinsic F0 of vowels". *Journal of Phonetics*, 23(3), 349-66.
- Zwicker, E., Terhardt, E. (1980). "Analytical expressions for critical-band rate and critical bandwidth as a function of frequency". *Journal of the Acoustical Society of America*, 68(5), 1523-25.