

## Research Article

# Formant structure and vowel space in Persian vowels

**Hiwa Mohammadi<sup>1</sup>, Reihane Mohammadi<sup>2</sup>, Farhad Torabinezhad<sup>3</sup>, Mansour Rezaei<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> - Office of Vice Chancellor for Research and Technology, Kermanshah University of Medical Sciences, Iran

<sup>2</sup> - Department of Speechtherapy, University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences, Tehran, Iran

<sup>3</sup> - Department of Speechtherapy, Faculty of Rehabilitation, Tehran University of Medical Sciences, Iran

<sup>4</sup> - Department of Biostatistics, School of Medicine, Kermanshah University of Medical Sciences, Iran

Received: 15 January 2011, accepted: 4 April 2011

## **Abstract**

**Background and Aim:** Formant structure and vowel space are the most important acoustic characteristics of speech sounds. The purpose of this study was to determine formant frequency and vowel space in six Persian vowels.

**Methods:** This cross-sectional descriptive-analytic study was performed on 60 Persian students of Tehran University of Medical Sciences (30 males, 30 females) with their age ranging from 18 to 24 years. The subject articulated six Persian vowels in isolation and data was recorded by real-analyzer software. Then, the first three formant frequency of each vowel was determined for each subject. Vowel formant frequency averages were measured separately for each vowel and each gender. Vowel space was plotted. The difference between  $F_0$  in two groups was compared by Leven and independent sample t tests.

**Results:** Maximum and minimum values of  $F_0$  in both group was related to /æ/ and /a/ (135 Hz in males and 239 Hz in females) and /i/ (146 Hz in males and 239 Hz in females). Besides,  $F_0$  in females was significantly higher than males ( $p < 0.001$ ). Maximum and minimum values of  $F_1$  were related to /æ/ and /i/. Furthermore, maximum and minimum values of  $F_2$  were related to /i/ and /u/. Maximum and minimum values of  $F_3$  were related to /i/ and /u/.

**Conclusion:** The lowest vowels were /æ/ and /a/ and the highest was /i/. The frontest was /i/ and the backest was /u/. the spreadest vowel was /i/ and the roundest was /u/.

**Keywords:** Vowel, Persian language, formant, vowel space, fundamental frequency

---

**Corresponding author:** Office of Vice Chancellor for Research & Technology, Kermanshah University of Medical Sciences, Shahid Beheshti Blvd., Kermanshah, 6714673159, Iran. Tel: 0098831-8393156  
E-mail: hiwa.mohamadi@gmail.com

## تعیین ساختار سازه‌ای و فضای واکه‌ای در واژه‌های زبان فارسی

هیوا محمدی<sup>۱</sup>، ریحانه محمدی<sup>۲</sup>، فرهاد ترابی‌نژاد<sup>۳</sup>، منصور رضایی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> - معاونت تحقیقات و فناوری، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کرمانشاه، ایران

<sup>۲</sup> - گروه گفتاردرمانی، دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی، تهران، ایران

<sup>۳</sup> - گروه گفتاردرمانی، دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ایران

<sup>۴</sup> - گروه آمار زیستی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه، ایران

### چکیده

**زمینه و هدف:** ساختار سازه‌ای و فضای واکه‌ای مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی آواهای گفتاری هستند. پژوهش حاضر با هدف تعیین ساختار سازه‌ای و فضای واکه‌ای ۶ واژه زبان فارسی انجام شد.

**روش بررسی:** پژوهش توصیفی-تحلیلی حاضر به صورت مقطعی روی ۶۰ نفر (۳۰ مرد، ۳۰ زن) از دانشجویان فارسی‌زبان دانشگاه علوم پزشکی تهران در محدوده سنی ۱۸ تا ۲۴ سال انجام شد. فرکانس اولین، دومین و سومین سازه واکه‌های زبان فارسی و فضای واکه‌ای توسط نرم‌افزار *real analyzer* ضبط و تحلیل شد. میزان  $F_0$  در دو جنس با استفاده از آزمون‌های *Leven* و *t* مستقل مقایسه شد.

**یافته‌ها:** کمترین میزان  $F_0$  در مردان و زنان مربوط به واکه‌های /æ/ و /a/ (۱۳۵ هرتز در مردان و ۲۳۰ هرتز در زنان) و بیشترین آن مربوط به واکه /i/ (۱۴۶ هرتز در مردان و زنان ۲۳۹ هرتز در زنان) بود. میانگین فرکانس پایه زنان به طور معنی‌دار بیشتر از مردان بود ( $p < 0.001$ ). بیشترین و کمترین مقدار  $F_1$  در مردان و زنان مربوط به واکه‌های /æ/ و /i/ است. بیشترین و کمترین مقدار  $F_2$  در هر دو جنس به ترتیب مربوط به واکه‌های /i/ و /u/ است. بیشترین و کمترین میزان  $F_3$  مربوط به واکه‌های /u/ و /i/ است.

**نتیجه‌گیری:** واکه‌های /æ/ و /a/ دارای کمترین فرکانس، /i/ دارای بالاترین فرکانس، /æ/ بازترین، /i/ بسته‌ترین، /i/ بیشین‌ترین و گسترده‌ترین و /u/ پسین‌ترین و گردترین واکه‌ها هستند.

**واژگان کلیدی:** واکه، زبان فارسی، سازه، فضای واکه‌ای، فرکانس پایه

(دریافت مقاله: ۸۹/۱۰/۲۵، پذیرش: ۹۰/۱/۱۵)

### مقدمه

شده هستند و سازه (Formant) یا مناطق تشدید نامیده می‌شوند (۴ و ۳). به مجموع سازه‌های یک واکه ساختار سازه‌ای می‌گویند. اهمیت ساختار سازه‌ای (Formant structure) به گونه‌ای است که روابط میان سه سازه اول از اجزای اصلی تشخیص شنیداری واکه توسط شنونده معرفی شده‌اند (۵ و ۲). کیفیت صوتی یک واکه به فرکانس سازه‌های آن وابسته است (۶). اغلب پژوهشگران ساختار سازه‌ای را به عنوان مهم‌ترین مختصه فیزیکی و ادراکی واکه معرفی کرده‌اند (۷ و ۲). از سازه اول و دوم

براساس مشاهدات تجربی در زمینه هماهنگی تولید، اعلام شده است که واحدهای حرکتی تشکیل‌دهنده زنجیره گفتار هجاها هستند (۲ و ۱). همچنین، مشخص شده است که واکه مرکز، هسته، و محور هجا را تشکیل می‌دهد. بنابراین، ضرورت تحلیل آوایی واکه‌ها از نقطه نظر آواشناسی فیزیکی روشن است. منحنی پاسخ فرکانسی واکه تولید شده مشخص‌کننده وضعیت اندام‌های گویایی در تولید آن واکه است. بخش‌هایی از هر منحنی پاسخ فرکانس به صورت قله ظاهر می‌شوند. این قله‌ها معرف فرکانس‌های تشدید

به‌عنوان خصوصیات اکوستیکی برای ارزیابی محدودیت‌های حرکتی زبان نام برده‌اند. به‌طور کلی واکه‌ها بیش از سه سازه دارند، اما سه سازه اول نقش اصلی را در تشخیص و تمیز واکه‌ها از همدیگر دارند (۸). پژوهشگران اعلام کرده‌اند که سازه اول ( $F_1$ ) نمایانگر ارتفاع زبان یا جایگاه تنگ‌شدگی، سازه دوم ( $F_2$ ) نمایانگر جایگاه تنگ‌شدگی یا وضعیت قدامی-خلفی زبان و سازه سوم ( $F_3$ ) با گرد یا گسترده بودن لب‌ها در ارتباط است. کاهش ارتفاع زبان در تولید واکه‌های باز سازه اول را افزایش می‌دهد. همچنین پیشروی زبان به جلو برای تولید واکه‌های پیشین موجب کاهش  $F_1$  و افزایش  $F_2$  می‌شود (۳).

صالحی و همکاران (۱۳۸۷) ساختار سازه‌ای واکه‌های زبان فارسی را در سه گروه کودکان عادی، کودکان با افت شنوایی متوسط و کودکان با افت شنوایی شدید مقایسه کردند. براساس نتایج آنها هرچه شدت افت شنوایی افزایش یابد فضای واکه‌ای بسته‌تر می‌شود (۹). بهرامی و همکاران (۱۳۸۶) سازه‌های ۶ واکه فارسی را در سه گروه فوق در دانش‌آموزان دبیرستانی مقایسه کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که دانش‌آموزان مبتلا به افت شنوایی متوسط و شدید الگوی نامنظمی از نظر ترتیب قرارگیری واکه‌ها از لحاظ بیشترین و کمترین  $F_1$ ،  $F_2$  و  $F_3$  نشان می‌دهند. تمایل به جابه‌جایی واکه‌های پیشین با پسین و نزدیک‌تر کردن محل تولید واکه‌ها به ناحیه انتهایی زبان و تولید واکه خنثی به دلیل وابستگی بیشتر آنها به حس عمقی مشهود بود (۱۰). Peterson و Barney در سال ۱۹۵۲،  $F_1$ ،  $F_2$  و  $F_3$  ۱۰ واکه زبان انگلیسی و فضای واکه‌ای را در ۷۶ مرد، زن و کودک به تفکیک تعیین کردند. این پژوهشگران قسمت میانی موج صوتی تولید شده در هر واکه را برای تحلیل انتخاب کردند (۱۱). Kent و Forner (۱۹۷۹)،  $F_1$ ،  $F_2$  و  $F_3$  ۱۰ واکه زبان انگلیسی را در ۳۳ نفر مرد، زن و کودک در وضعیت تقلید واکه‌ها تعیین کردند. نتایج تحقیق این پژوهشگران نشان داد که هنگام تقلید ساختار طبیعی سازه‌های واکه‌ها اندکی متفاوت است (۱۲). Depaul و Brooks (۱۹۹۳) سازه‌های چهار واکه /i/، /e/، /æ/ و /u/ را در پنج فرد هنجار و پنج فرد مبتلا به تصلب ستون‌های جانبی و ماده خاکستری جلوئی نخاع

با یکدیگر مقایسه کردند و تغییراتی را در افراد بیمار از لحاظ تراکم فضای واکه‌ای در ناحیه /i/ و /u/ و گسترش فضای واکه‌ای در ناحیه /a/ گزارش کردند. آنها علت این تفاوت‌ها را محدودیت حرکت قدامی-خلفی زبان و باز شدن بیش از اندازه فک در بیماران گزارش کردند (۱۳). Sumita و همکاران (۲۰۰۲) سازه‌های ۵ واکه زبان ژاپنی شامل /i/، /e/، /a/، /o/ و /u/ را در ۱۲ بیمار ماکزیلکتومی (Maxilectomy) و ۱۲ شاهد مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که  $F_2$  در هر ۵ واکه به‌طور واضح و معنی‌دار در بیماران پایین‌تر از افراد سالم است. این پژوهشگران گزارش کردند که بیماران ماکزیلکتومی در کنترل و تنظیم  $F_2$  مشکل دارند (۱۴). پژوهش‌های اخیر در کشورهای در حال توسعه بیشتر بر ضرورت تعیین هنجار پارامترهای اکوستیک اجزای گفتار تأکید دارند. پژوهشی در نپال نشان داد که فرکانس پایه ( $F_0$ ) و آشفستگی فرکانس (Jitter) در زنان به‌طور معنی‌دار بیشتر از مردان است (۱۵). مطالعه دیگری که در بلژیک انجام شد، میانگین  $F_0$  مردان و زنان در واکه /e/ را به ترتیب ۱۱۴ و ۲۱۰ هرتز گزارش کرد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با هم دارند (۱۶).

### روش بررسی

با توجه به نقش اساسی و محوری ساختار سازه‌ای به‌عنوان مشخصه‌های فیزیکی واکه‌ها و نیز توجه به این مسئله که ساختار سازه‌ای واکه‌های زبان فارسی در گروه بزرگسالان هنوز مشخص نشده است، پژوهش حاضر با هدف تعیین سه سازه اول واکه‌های زبان فارسی در افراد ۱۸ تا ۲۴ ساله فارسی‌زبان و رسم نمودار فضای واکه‌ای به تفکیک جنس انجام گرفته است. همچنین، مقایسه فرکانس پایه در دو جنس از دیگر هدف‌های این پژوهش است.

تصادفی ساده انتخاب شدند.

ابزارهای مورد استفاده در این پژوهش شامل پرسش‌نامه اطلاعات فردی، آزمایشگاه گفتار کاملاً اکوستیک، میکروفن مجهز به تقویت‌کننده، رایانه مجهز به نرم‌افزار real analyzer و تابلوی واژه‌ها بود. پرسش‌نامه پژوهش شامل سؤالاتی در زمینه اطلاعات فردی (سن و جنس)، سابقه ابتلا به بیماری‌ها یا التهابات مجاری تنفسی و گفتاری، ابتلا به اختلال گفتاری، کم‌شنوایی، دوزبانگی یا اختلالات عضوی اندام‌های گفتاری بود. به‌منظور دریافت و انتقال صدای آزمودنی از میکروفن مجهز به تقویت‌کننده استفاده شد و برای جلوگیری از انعکاس صدای آزمودنی، کاهش سر و صداهای محیطی و تنظیم دقیق دستگاه‌های مورد استفاده، پژوهش در آزمایشگاه اکوستیک دانشکده توانبخشی دانشگاه علوم پزشکی تهران انجام گرفت. روی تابلوی واژه‌ها شش واژه /æ/، /e/، /i/، /a/، /o/ و /u/ به‌ترتیب نوشته شده و روبه‌روی صدای آزمودنی نصب شد. نرم‌افزار real analyzer مورد استفاده در پژوهش حاضر از مجموعه نرم‌افزارهای Dr. Speech است. این نرم‌افزار صداهای دریافتی از میکروفن را همزمان با دریافت تجزیه و تحلیل می‌کند و روی صفحه مانیتور نشان می‌دهد. با استفاده از این برنامه می‌توان نمودار شکل موج، طیف و منحنی تشدید صداهای گفتاری را مورد بررسی قرار داد. این نرم‌افزار همچنین میزان فرکانس پایه، تغییرات آن، شدت صوت و تغییرات مربوط به شدت را به‌صورت عددی ثبت می‌کند. حداقل محدوده زمانی که با این نرم‌افزار می‌توان بررسی کرد ۰/۷ ثانیه است.

پژوهش حاضر طی چند مرحله انجام شد. ابتدا رضایت‌نامه کتبی به امضای شرکت‌کنندگان در پژوهش رسانده شد. سپس از آنها خواسته شد که پرسش‌نامه پژوهش را مطالعه کرده و به سؤالات آن به‌دقت و صادقانه پاسخ دهند. بعد از بررسی پرسش‌نامه‌ها افرادی که سابقه دوزبانگی و اختلالات تنفسی، گفتاری و شنوایی داشتند از مطالعه حذف و آزمودنی‌های جدید جایگزین آنها شدند. در مرحله بعد هر آزمودنی در ساعت معین به آزمایشگاه گفتار دعوت می‌شد و مراحل اجرای آزمون برای او شرح داده می‌شد. سپس از آزمودنی خواسته می‌شد طوری روی صدای

بنشینند که گردنش کاملاً راست باشد و به راست، چپ، جلو یا عقب منحرف نشود. به هنگام اجرای آزمون، تابلوی واژه‌ها روبه‌روی آزمودنی قرار داشت. همچنین، برای جلوگیری از تورش‌های ناشی از بازخورد بینایی، آزمودنی حین اجرای آزمون صفحه مانیتور را مشاهده نمی‌کرد. بعد از استقرار مناسب آزمودنی روی صدلی، میکروفن در فاصله مناسب ۲۰ سانتی‌متری دهان روی سینه آزمودنی نصب می‌شد. سپس آیکون start روی صفحه نمایش فشار داده می‌شد و از آزمودنی خواسته می‌شد شش واژه /i/، /e/، /æ/، /a/، /o/ و /u/ را از روی تابلوی واژه‌ها به‌ترتیب تولید کند. هر واژه باید حداقل به‌مدت ۳ ثانیه تولید می‌شد. برای جلوگیری از تورش ناشی از پدیده هماهنگی در تولید، آزمودنی باید بین پایان تولید یک واژه و شروع واژه بعدی کاملاً مکث می‌کرد. در صورت وجود اشکال در اجرای آزمون مانند تولید کوتاه واژه‌ها، وجود صداهای محیطی و عدم مکث بین تولید دو واژه، مراحل اجرای آزمون دوباره برای آزمودنی شرح داده می‌شد و آزمون تکرار می‌گردید. بعد از اجرای آزمون اطلاعات ذخیره می‌شد و منحنی تشدید یا منحنی پاسخ فرکانس هر واژه در هر آزمودنی در محدوده زمانی ۰/۷ ثانیه میانی مورد بررسی قرار می‌گرفت و  $F_0$  و  $F_1$ ،  $F_2$  و  $F_3$  قله منحنی، که نشانگر فرکانس‌های تشدید شده هستند، ثبت می‌شد.

داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزارهای Microsoft Excel 2003 و SPSS نسخه ۱۱ تحلیل و نتایج به‌صورت جدول و نمودار و براساس میانگین سازه‌ها در هر جنس استخراج شد. در قسمت تحلیلی برای مقایسه  $F_0$  واژه‌های مختلف در دو جنس، از آزمون‌های Leven و t مستقل استفاده شد. نمودار فضای واژه‌ای با ارائه میانگین‌های  $F_1$  و  $F_2$  با نرم‌افزار real analyzer رسم گردید. این نرم‌افزار  $F_1$  را در محور عمودی و  $F_2$  را در محور افقی قرار می‌دهد.

### یافته‌ها

مقایسه میانگین  $F_0$  هر واژه در دو جنس در جدول ۱ نشان داده شده است. براساس نتایج این جدول  $F_0$  مردان و زنان در

جدول ۲- سازه‌های اول، دوم و سوم واکه‌های زبان فارسی در مردان و زنان

زنان			مردان			واکه
F <sub>3</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	
۳۳۴۰	۲۷۵۰	۳۲۵	۲۸۷۰	۲۲۰۰	۲۹۰	/i/
۳۰۹۵	۲۳۴۰	۵۱۵	۲۶۴۰	۱۸۲۵	۴۹۰	/e/
۲۸۸۵	۱۷۲۵	۹۹۵	۲۵۲۰	۱۴۶۵	۷۵۵	/æ/
۳۰۱۵	۱۱۸۵	۷۴۵	۲۵۹۵	۱۰۳۵	۶۱۰	/a/
۲۹۸۰	۹۲۰	۴۷۵	۲۵۵۰	۸۷۵	۴۶۰	/o/
۲۶۰۰	۸۳۵	۳۷۰	۲۴۲۰	۸۰۰	۳۲۵	/u/

جدول ۱- میانگین و انحراف معیار فرکانس پایه واکه‌های زبان فارسی در مردان و زنان

زنان		مردان		واکه
میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	
۲۳۰	۲۱	۱۳۵	۲۰	/a/
۲۳۰	۲۲	۱۳۵	۲۰	/æ/
۲۳۳	۲۱	۱۳۸	۲۱	/e/
۲۳۴	۲۴	۱۳۸	۲۰	/o/
۲۳۵	۲۴	۱۴۰	۲۳	/u/
۲۳۹	۲۴	۱۴۶	۳۵	/i/

به‌طور معنی‌داری بیشتر از زنان است. این یافته با پژوهش Toran و Lal (۲۰۰۹) همخوانی دارد. از طرفی میانگین F<sub>0</sub> مردان و زنان در واکه /i/ زبان فارسی کمتر از پژوهش مذکور است. در پژوهش فوق تنها واکه /i/ زبان نیالی بررسی شده است. بر این اساس به نظر می‌رسد زبان نیالی در مقایسه با زبان فارسی دارای فرکانس بالاتری است (۱۵). همچنین این یافته با نتایج مطالعه Smits و همکاران (۲۰۰۵) مشابه است. از طرفی نتایج مطالعه این پژوهشگران که روی زبان بلژیکی انجام شد، نشان می‌دهد که مردان و زنان بلژیکی نسبت به مردان و زنان فارسی‌زبان با فرکانس کمتر صحبت می‌کنند (۱۶). دلیل این تفاوت‌ها مربوط به خصوصیات ساختمان اندام‌های گویایی در نژادهای مختلف و در نتیجه ویژگی‌های اکوستیکی خاص هر زبان است. همچنین، کوتاه و نازک‌تر بودن تارهای صوتی در زنان نسبت به مردان دلیل اصلی بالا بودن F<sub>0</sub> آنها است.

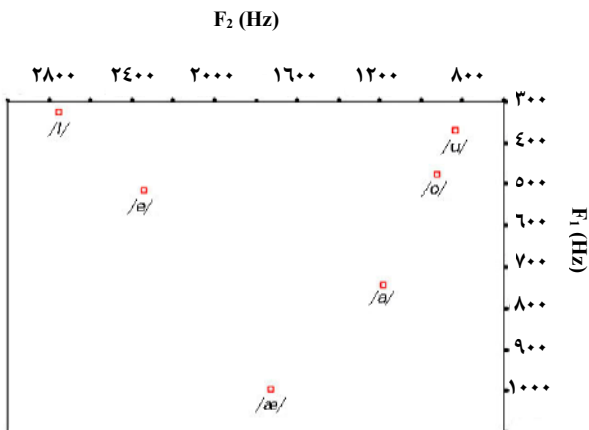
چنانکه گفته شد شکل و اندازه مجرای صوتی در تولید واکه‌ها بر فرکانس‌های تشدید شده یا سازه‌های واکه‌ها تأثیر می‌گذارد. F<sub>1</sub> نمایانگر ارتفاع زبان یا میزان تنگ‌شدگی مجرای صوتی حین تولید واکه است. هرچه ارتفاع زبان کاهش یابد و به تبع آن میزان تنگ‌شدگی بیشتر شود F<sub>1</sub> کاهش می‌یابد. به این

تمام واکه‌ها اختلاف معنی‌دار با هم دارد (p=۰/۰۰۰). کمترین میزان F<sub>0</sub> در مردان و زنان مربوط به واکه‌های /æ/ و /a/ (۱۳۵ هرتز در مردان و ۲۳۰ هرتز در زنان) و بیشترین آن مربوط به واکه /i/ (۱۴۶ هرتز در مردان و ۲۳۹ هرتز در زنان) است. ترتیب قرارگیری واکه‌ها از لحاظ کمترین به بیشترین میزان F<sub>0</sub> در مردان شامل واکه‌های /a/، /æ/، /e/، /o/، /u/ و /i/ است. این ترتیب مربوط به F<sub>0</sub>، در زنان نیز صادق است.

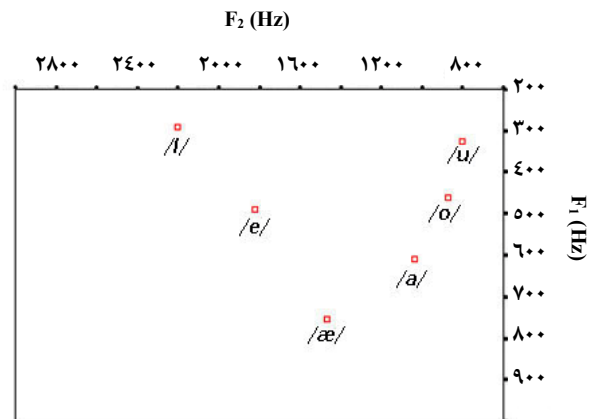
جدول ۲، F<sub>1</sub>، F<sub>2</sub> و F<sub>3</sub> را در هر واکه به تفکیک جنس نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین مقدار F<sub>1</sub> در مردان و زنان مربوط به واکه‌های /æ/ و /i/ است. بیشترین و کمترین مقدار F<sub>2</sub> در هر دو جنس به ترتیب مربوط به واکه‌های /i/ و /u/ است. بیشترین و کمترین میزان F<sub>3</sub> مربوط به واکه‌های /u/ و /i/ است. فضای واکه‌ای واکه‌های زبان فارسی به ترتیب برای مردان در نمودار ۱ و زنان در نمودار ۲ نشان داده شده است. بر این اساس فضای واکه‌ای در زنان گسترده‌تر است، و به تعبیری تحرک زبان در زنان نسبت به مردان بیشتر است.

## بحث

یافته‌های ما نشان داد که میانگین فرکانس پایه در مردان



نمودار ۲- فضای واکه‌ای زبان فارسی در زنان



نمودار ۱- فضای واکه‌ای زبان فارسی در مردان

یا /u/ به‌دست آمده است. واکه‌های /i/، /e/ و /a/ به‌ترتیب گسترده‌ترین واکه‌ها و واکه‌های /u/، /æ/ و /o/ به‌ترتیب گردترین واکه‌ها هستند.

نرم‌افزار real analyzer در رسم نمودار فضای واکه‌ای محور عمودی را  $F_1$  و محور افقی را  $F_2$  قرار می‌دهد، که به این ترتیب قرارگیری واکه‌ها براساس محور عمودی میزان باز و بسته بودن آنها را نشان می‌دهد. همچنین، ترتیب قرارگیری واکه‌ها براساس محور افقی نمایانگر فاصله تنگ‌شدگی از حنجره است. نمودار فضای واکه‌ای زبان فارسی موقعیت تولیدی واکه‌ها را در فضای دهان و در مقایسه با یکدیگر نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری

فرکانس پایه زنان در تمام واکه‌ها به‌طور معنی‌دار بیشتر از مردان است. در هر دو جنس واکه‌های /a/ و /æ/ به‌ترین و واکه /i/ زیرترین واکه‌ها هستند. واکه /æ/ بازترین و واکه /i/ بسته‌ترین واکه‌ها هستند. واکه‌های /i/ و /u/ به‌ترتیب پیشین‌ترین و پسین‌ترین واکه‌ها هستند. گردترین واکه زبان فارسی /u/ و گسترده‌ترین آنها واکه /i/ است.

### REFERENCES

1. Ashby P. Speech sounds. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Routledge; 2005.
2. Yunusova Y, Weismer G, Westbury JR, Lindstrom MJ. Articulatory movements

- during vowels in speakers with dysarthria and healthy controls. *J Speech Lang Hear Res.* 2008;51(3):596-611.
3. Ball MJ, Code C. Instrumental clinical phonetics. 1<sup>st</sup> ed. London: Whurr publication; 1997.
  4. Boone DR, McFarlane SC, Von Berg SL. The voice and voice therapy, 7<sup>th</sup> ed. Boston: Pearson/Allyn & Bacon; 2005.
  5. Ladefoged P. A course in phonetics. San Diego: Harcourt Brace Jovanovich; 2006.
  6. Ladefoged P. Vowels and consonants an introduction to the sounds of language. 2<sup>nd</sup> ed. Oxford: Blackwell Publishers; 2005.
  7. Caruso AJ, Strand EA. Clinical management of motor speech disorders in children. New York: Thieme Medical Publishers; 1999.
  8. Hagino A, Inohara K, Sumita YI, Taniguchi H. Investigation of the factors influencing the outcome of prostheses on speech rehabilitation of mandibulectomy patients. *Nihon Hotetsu Shika Gakkai Zasshi.* 2008; 52(4):543-9.
  9. Salehi F, Bahrami A, Pourgharib J, Torabinezhad F, Kamali M. The Persian vowel formants in normal, moderate and severe hearing impaired students age 7-9 years in Isfahan. *Audiol.* 2009;17(2):42-52.
  10. Bahrami A, Pourgharib J, Torabinejad F, Kmali K, Salehi F. The Persian vowel formant structure of students with normal, moderate and severe hearing loss aged 15-18 years in Esfahan. *J Res Rehab Sci.* 2007;3(2):77-84. Persian.
  11. Peterson GE, Barney HL. Control methods used in a study of the vowels. *J Acoust Soc Am.* 1952;24(2):175-84.
  12. Kent RD, Forner LL. Developmental study of vowel formant frequencies in an imitation task. *J Acoust Soc Am.* 1979;65(1):208-17.
  13. DePaul R, Brooks BR. Multiple orofacial indices in amyotrophic lateral sclerosis. *J Speech Hear Res.* 1993;36(6):1158-67.
  14. Sumita YI, Ozawa S, Mukohyama H, Ueno T, Ohyama T, Taniguchi H. Digital acoustic analysis of five vowels in maxillectomy patients. *J Oral Rehabil.* 2002;29(7):649-56.
  15. Toran KC, Lal BK. Objective analysis of voice in normal young adults. *Kathmandu Univ Med J (KUMJ).* 2009;7(28):374-7.
  16. Smits I, Ceuppens P, De Bodt MS. A comparative study of acoustic voice measurements by means of Dr. Speech and Computerized Speech Lab. *J Voice.* 2005;19(2):187-96.