دوفصلنامه علمی ـ پژوهشی زبان پژوهی دانشگاه الزهرا
سال چهارم، شماره ۸، بهار و تابستان ۱۳۹۲

بررسی ماهیت صوت‌شناختی واکه‌های فارسی در هجاهای CV گفتار اظهاری[1]

شهین شیخ سنگ‌تجن[2]
محمود بی‌جن‌خان[3]

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۱
تاریخ تصویب: ۹۰/۱۰/۱۸

چکیده

*در این مقاله، واکه‌های زبان فارسی معیار را برحسب متغیرهای سازه‌های اول و دوم (F1 و F2)، بسامد پایه (F0)، شدت (انرژی) و دیرش در هجاهای CV گفتار اظهاری (همخوان‌ها و واکه‌های زبان فارسی)، به‌لحاظ صوت‌شناختی بررسی کرده‌ایم. برای تحقیق، پنج گویشور فارسی‌زبان را از دادگان آوایی فارس دات تلفنی برگزیده‌ایم که هریک، واکه‌های فارسی را در بافت همخوانی (۲۳ همخوان)، با سرعت ثابت تولید کرده‌اند؛ بدین صورت، درمجموع، ۶۹۰ داده (۲۳*۶*۵ =۶۹۰) را به‌دست‌آورده‌ایم. با توجه به اینکه ارتفاع واکه‌ها با F1، ازنوع عکس و رابطهٔ F2 با محل تولید واکه (پسین یا پیشین)، ازنوع مستقیم است، فضای واکه‌های فارسی را برحسب میانگین متغیرهای F1 و F2- F1 نشان داده‌ایم و میانگین مقادیر*

---

1. Citation Form

۲. دکتری رشتهٔ زبان‌شناسی همگانی دانشگاه تهران و استادیار دانشگاه پیام نور shsheikh226@yahoo.com
۳. دانشیار دانشگاه تهران mbjkhan@ut.ac.ir

به‌دست‌آمده از بسامد پایه و شدت در واکه‌ها را به‌صورت مستقل از همخوان‌ها نیز تعیین کرده‌ایم. F0 در واکه‌ها، با ارتفاع، نسبت مستقیم دارد و انرژی با آن، نسبت عکس دارد. در این بررسی، میانگین دیرش واکه‌ها را نیز محاسبه کرده‌ایم. نزدیک‌بودن مقدار میانگین برخی واکه‌ها به یکدیگر براساس دست‌کم یکی از متغیرهای F1 و F2 می‌تواند دلیلی قانع‌کننده برای کاهش و نیز گرایش واکه‌هایی ناپایدار مانند /a/ به واکه‌های پایدار مانند [a] باشد. در این پژوهش، متغیرهای بسامد پایه و انرژی در واکه‌ها را در بافت همخوانی، شامل همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار و بی‌واک، و همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار و رسا نیز محاسبه کرده و دریافته‌ایم که بافت همخوانی مجاور پیشین، در F0 و انرژی واکه‌ها اثری ندارد.

واژه‌های کلیدی: *زبان فارسی، واکه‌ها، سازه‌های فرکانسی، بسامد پایه، انرژی، دیرش، همخوان‌های مجاور پیشین.*

۱. مقدمه

هدف از نگارش این مقاله، بررسی عناصر صوت‌شناختی، یعنی سازه‌های F1، F2، بسامد پایه (F0)، شدت (انرژی) و دیرش واکه‌های زبان فارسی در هجاهای CV است که به‌صورت مجزا و روی خط تلفن تولید شده‌اند. در بررسی صوت‌شناختی واکه‌ها، از سازه‌های فرکانسی[1] اول و دوم (F1 و F2) استفاده می‌شود و بر این اساس، F1 با ارتفاع، رابطهٔ عکس و F2 با محل تولید واکه (پسین یا پیشین)، رابطهٔ مستقیم دارد (هی‌وارد[2]، ۲۰۰۰: ۱۴۷). بسامد پایه (F0) نیز میزان ارتعاش تارهای صوتی هنگام تولید آواست که با ارتفاع زبان، رابطهٔ مستقیم دارد؛ به طوری که هرچه از ارتفاع زبان در تولید واکه‌ها کاسته شود، از مقدار F0 نیز کاسته خواهد شد و بالعکس (هی‌وارد،

1. Formant Frequencies
2. Hayward

۲۰۰۰: ۱۵۷ و ۱۵۸). انرژی واکه‌ها هم‌بسته‌ای مستقیم از رسایی آنهاست؛ به طوری که هرچه از میزان ارتفاع واکه کاسته شود، به انرژی و رسایی آن افزوده خواهد شد. همخوان‌های مجاور نیز ممکن است بر رسایی و بسامد پایهٔ واکه‌ها اثر بگذارند.

در بخش دوم پژوهش، چهارچوبی نظری را به‌دست داده و در آن، عناصر صوت‌شناختی F0، F1 و F2، انرژی و دیرش را بررسی کرده‌ایم. در بخش سوم، واکه‌های فارسی را معرفی کرده و در بخش چهارم، پس‌از ذکر فرضیه‌های مربوط به متغیرهای صوت‌شناختی یادشده، دادگان آوایی را به‌دست داده‌ایم. در بخش‌های پنجم و ششم نیز نتایج به‌دست‌آمده را براساس فرضیه‌ها تحلیل کرده و فرایند واجی کاهش و گرایش واکه‌ها به‌سوی واکه‌های دیگر و به‌ویژه واکه‌های پایدار را به نزدیکی مقادیر متغیرهای صوت‌شناختی یادشده در آنها نسبت داده‌ایم.

۲. چهارچوب نظری

در بررسی آکوستیکی واکه‌ها، از هم‌بسته‌های صوت‌شناختی مشخصه‌های ارتفاع زبان، محل تولید و هم‌بسته‌های صوت‌شناختی گردی لب‌ها، یعنی سازه‌های F2 و F1 استفاده می‌شود. به‌عقیدهٔ لدفوگد[1] (۱۹۶۴) به نقل از لیندا[2] (۱۹۷۴: ۵۴۱)، افراشته‌ترین قسمت زبان[3]، بیانگری مناسب برای ارتفاع زبان و پیشین و پسین‌بودن، به‌ویژه در واکه‌های پسین نیست؛ بلکه درتوصیف واکه‌ها باید از نمودار سازه‌ها استفاده کرد. به‌عقیدهٔ این زبان‌شناس، واکه‌های افراشته، F1 کمتری نسبت‌به واکه‌های میانی و افتاده دارند و ارتفاع زبان با F1، رابطهٔ عکس دارد؛ به طوری که هرچه از ارتفاع زبان کاسته شود، به مقدار F1 افزوده می‌شود (لیندا، ۱۹۷۴: ۵۴۲).

هی‌وارد (۲۰۰۰: ۱۴۷) نیز ارتفاع زبان را با F1 و مشخصه‌های پسین، و گردی را با F2 توصیف کرده و معتقد است ارتفاع با F1، رابطهٔ عکس و محل تولید واکه (پسین یا پیشین) با F2، رابطهٔ مستقیم دارد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. Ladefoged
2. Lindau
3. Highest Point of the Tongue

لدفوگد (۱۹۶۴) به نقل از لیندا (۱۹۷۴: ۵۴۲) معتقد است محل تولید، با F2-F1، رابطهٔ مستقیم دارد و مقدار F2-F1، در مقایسه با F2، هم‌بستهٔ صوت‌شناختی‌ای دقیق‌تر برای محل تولید است. هی‌وارد نیز از لدفوگد نقل کرده است که در نمایش فضای واکه‌ای به‌صورت ذوزنقه‌ای در ربع سوم محور مختصات، بهتر است از F1 و F2-F1، به‌جای F1 و F2 استفاده کنیم (هی‌وارد، ۲۰۰۰: ۱۵۹ و ۱۶۰).

بسامد پایه (F0) هم‌بستهٔ صوت شناختی زیروبمی به‌شمار می‌رود. زیروبمی، مفهومی ادراکی است که هم‌بستهٔ تولیدی آن، فرکانس ارتعاش تارآواها هنگام تولید آواست. F0 که همانند سازه‌های فرکانسی F1 و F2 براساس دوربرثانیه یا هرتز (Hz) سنجیده می‌شود، سازه‌ای فرکانسی نیست؛ بلکه عنصری برجسته در طیف واکه است و معمولاً یک قلهٔ انرژی دارد که ممکن است بر قلهٔ F1 در درک واکه‌ها اثر گذارد؛ در این صورت، F0 با F1، اتحاد طیفی[1] را تشکیل می‌دهد. F0 نیز همانند F1، هم‌بسته‌ای از ارتفاع واکه‌هاست و درواقع، از F0 همانندF1 می‌توان برای تشخیص افراشتگی واکه‌ها استفاده کرد؛ به طوری که واکه‌های افراشته، F0 بیشتری نسبت‌به واکه‌های افتاده دارند؛ زیرا واکه‌های افراشته با میزان ارتعاش بیشتری از تارهای صوتی نسبت‌به واکه‌های افتاده تولید می‌شوند. این واقعیت در زبان‌ها، زیروبمی ذاتی واکه‌ها[2] نامیده می‌شود (هی‌وارد، ۲۰۰۰: ۱۵۷ و ۱۵۸).

مطالعات والن و لویت[3] (۱۹۹۵: ۳۶۲) دربارهٔ ۳۱ زبان بیانگر آن است که زیروبمی ذاتی واکه‌ها- که با IF0 نشان داده می‌شود- در واکه‌های افراشته، بیشتر از واکه‌های افتاده است. این واقعیت، ازنوع جهانی و نتیجهٔ مستقیم تولید واکه است؛ بنابراین، از واکه‌های افراشته به‌سوی واکه‌های افتاده، مقدار F0 کاهش می‌یابد؛ در حالی که به مقدار F1 افزوده می‌شود. درواقع، مقدار F1-F0 در واکه‌های افراشته، کم و در واکه‌های افتاده، زیاد است.

---

۱. اگر فاصلهٔ دو قلهٔ سازه‌ای، کمتر از ۳/۵ بارک باشد، اتحاد طیفی (Spectral Integration Hypothesis) برقرار می‌شود. F0 نیز می‌تواند با سازه‌های فرکانسی، اتحاد طیفی تشکیل دهد (هی‌وارد، ۲۰۰۰: ۱۵۵).

2. Intrinsic Pitch of Vowels

3. D. H. Walen and Andrea G. Levitt

هرگاه تارهای صوتی هنگام تولید همخوان یا واکه‌ای به‌ارتعاش درآیند، می‌توان F0 آنها را محاسبه کرد. بافت همخوانی نیز ممکن است بر F0 اثر گذارد؛ به طوری که F0 واکه‌های پس‌از همخوان‌های گرفتهٔ بی‌واک، بیشتر از F0 واکه‌های پس‌از همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار است (گوسن هاون[1]، ۲۰۰۴: ۱۱).

رسایی واکه‌ها با بلندی آن‌ها رابطه دارد. به‌عقیدهٔ کتفورد[2] (۱۹۸۸: ۱۷۴)، هرگاه تکیه، زیروبمی و دیرش را ثابت نگاه داریم، آواها به‌لحاظ بلندی یا رسایی، با یکدیگر متفاوت خواهند بود؛ به عبارت دیگر، بلندی یا رسایی ذاتی، از آوایی به آوای دیگر، متغیر است. ترتیب رسایی واج‌ها را بدین صورت می‌توان نشان داد (کنستویچ[3]، ۱۹۹۴: ۲۵۴):

واکه‌ها< غلت‌ها < روان‌ها < خیشومی‌ها<گرفته‌ها

درمیان واکه‌ها نیز ترتیب رسایی، بدین صورت است:

واکه‌های افتاده< واکه‌های میانی<واکه‌های افراشته

بلندی یک آوا، به شدت صوت‌شناختی[4] آن وابسته است و شدت صوت‌شناختی آواهای مختلف، در گوینده‌های متفاوت، به‌صورتی قابل توجه تغییر می‌کند. شدت ازلحاظ تولیدی، به میزان فشار هوای خارج‌شده از شش‌ها و نیز انرژی مصرف‌شده در تولید این حجم هوا مربوط می‌شود. آواهای دارای شدت بیشتر، ازنظر شنیداری، بلندتر درک می‌شوند. رسایی درحوزهٔ شنیداری، به‌صورت بلندی، درحوزهٔ تولید، به‌صورت میزان گشودگی دهان و درحوزهٔ صوت‌شناختی، به‌صورت شدت (انرژی) نمود می‌یابد؛ بنابراین، شدت یا انرژی واکه‌ها همچون رسایی و F1 در واکه‌های افتاده، بیشتر از واکه‌های میانی و افراشته است.

دیرش[5] عبارت است از مدت‌زمان تولید آوا که براساس هزارم ثانیه[6] بیان می‌شود. تعیین دقیق نقطهٔ شروع و پایان یک آوا و مقایسهٔ کوتاهی و بلندی دیرش آن، مشکلاتی را همراه دارد. دیرش

1. Gussenhoven, Carlos
2. Catford
3. Kenstowicz
4. Acoustic Intensity
5. Duration
6. Msec

نسبی یک آوا در گفتار را می‌توان براساس قابلیت درک شنونده در تعیین دیرش‌های متفاوت بیان کرد.

۳. واکه‌های فارسی

زبان‌شناسان دربارهٔ وجود شش واکهٔ / ɑ/، /o/، /u/، /a/، /e/ و /i/ در نظام آوایی زبان فارسی معیار، اتفاق‌نظر دارند (ثمره، ۱۳۶۴: ۱۰۴). لازار (۱۹۹۲: ۱۷) واکه‌های فارسی را به دو دستهٔ واکه‌های پایدار[1] (u، i، ɑ) و واکه‌های ناپایدار[2] (o، e، a) تقسیم کرده است. واکه‌های پایدار، دارای دیرشی ثابت هستند و کیفیتشان در گفتار محاوره‌ای، چندان تغییری نمی‌کند. این‌گونه واکه‌ها در همگونی واکه‌ها، شرکت فعال ندارند و به‌آسانی، به واکه‌های دیگر تبدیل نمی‌شوند. واکه‌های ناپایدار دیرش متغیر دارند و کیفیتشان تغییرپذیر است. این واکه‌ها در همگونی واکه‌ای شرکت فعال دارند، به‌آسانی به واکه‌های دیگر تبدیل می‌شوند و به‌ندرت، تحت‌تأثیر محیط همخوانی قرار می‌گیرند. درمیان واکه‌های ناپایدار، گرایش به تغییر، بسیار زیاد است. این واکه‌ها در جایگاه‌های بدون تکیه، کوتاه‌تر از جایگاه‌های دیگر و همچنین کوتاه‌تر از /ɑ ,i,u/ هستند (ثمره، ۱۳۶۴: ۱۸ و ۱۹).

در واکه‌های فارسی، تنها مشخصه‌های واج‌شناختی ارتفاع زبان و محل تولید واکه، باعث ایجاد تقابل می‌شوند و بر این اساس، در بررسی صوت‌شناختی، تنها با دو سازهٔ F1 و F2 می‌توان این تقابل را نمایش داد؛ بدین صورت که مقدار F1 در واکه‌های افراشته، کمتر از واکه‌های میانی و افتاده است و مقدار F2 نیز در واکه‌های پسین، کمتر از واکه‌های پیشین است.

بی‌جن‌خان میانگین بسامد سازه‌های اول و دوم واکه‌های فارسی را درمقیاس بارک، برای همهٔ قالب‌های ال.پی.سی. و برای هر گویشور به‌دست آورده و فضای ادراکی واکه‌های فارسی را برحسب F1 و F2-F1 مشخص کرده است (بی‌جن‌خان، ۱۳۷۴: ۳۰ تا ۳۴).

پرتال جامع علوم انسانی

1. Stable
2. Unstable

۴. بررسی آزمایشگاهی

در این بخش، به مباحث ذیل می‌پردازیم:

۴-۱. فرضیه‌ها

با توجه به مطالب ذکرشده، فرضیه‌های پژوهش براساس متغیرهای صوت‌شناختی سازه‌های F1، F2، بسامد پایه (F0)، انرژی و دیرش عبارت‌اند از:

الف) هرچه از ارتفاع زبان کاسته شود، به مقدار F1 افزوده خواهد شد؛

ب) واکه‌های پسین در مقایسه با واکه‌های پیشین، F2 کمتری دارند؛

ج) در مقایسهٔ بسامد پایه و انرژی واکه‌ها به‌صورت مستقل از همخوان‌ها:

- هرچه از میزان ارتفاع زبان کاسته شود، از مقدار بسامد پایه نیز کاسته خواهد شد؛
- هرچه از میزان ارتفاع زبان کاسته شود، به مقدار انرژی افزوده خواهد شد؛

د) در مقایسهٔ بسامد پایه و انرژی واکه‌ها در بافت همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار و بیواک:

$\begin{bmatrix} -son \\ +voiced \end{bmatrix}$ متفاوت است با $\begin{bmatrix} -son \\ -voiced \end{bmatrix}$

- میزان F0 واکه‌ها در بافت همخوان‌های گرفتهٔ بیواک، بیشتر از همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار است؛
- میزان انرژی واکه‌ها در بافت همخوان‌های گرفتهٔ بیواک و واک‌دار، مساوی است؛

ه) در مقایسهٔ بسامد پایه و انرژی واکه‌ها در بافت همخوان‌های رسا ([+ son]):

- میزان F0 واکه‌ها در بافت همخوان‌های رسا، مساوی است؛
- میزان انرژی واکه‌ها در بافت همخوان‌های رسا، مساوی است؛

و) در مقایسهٔ بسامد پایه و انرژی واکه‌ها در بافت همخوان‌های رسا و همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار:

[+son] متفاوت است با [- son]

- میزان F0 واکه‌ها در بافت همخوان‌های رسا، بیشتر از همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار است؛

– میزان انرژی واکه‌ها در بافت همخوان‌های رسا، بیشتر از همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار است؛

ز) در مقایسهٔ دیرش واکه‌ها مستقل از همخوان‌ها:

– دیرش واکه‌های پایدار / i, u, ɑ/ بیشتر از دیرش واکه‌های ناپایدار /e, o, a/ است.

۲-۴. دادگان آوایی[۱]

در دادگان فارس دات تلفنی[۲]، صدای ۶۴ گویشور فارسی‌زبان را به‌صورت یک‌طرفه[۳]، در دو حالت فی‌البداهه و رسمی، به‌مدت هفت ساعت و ۵۶ دقیقه، با درنظرگرفتن توزیع سن، جنس و لهجه، از فاصله‌های مختلف کشور نسبت‌به تهران، روی کامپیوتر ضبط کرده‌ایم. داده‌ها در حالت فی‌البداهه، شامل گفتار محاوره‌ای است و در حالت رسمی، حروف الفبا، ایام هفته، نام ماه‌ها، عددهای اصلی و پنجاه کلمهٔ پربسامد را دربر می‌گیرد. برای ضبط صداها، از کارت صوتی ساند بلاستر شانزده‌بیتی با فرکانس نمونه‌برداری یازده کیلوهرتز استفاده کرده‌ایم. مدت‌زمان ضبط صدای هر گویشور، به طور متوسط، ۷٫۵ دقیقه بوده است.

در این مقاله، با استفاده از نرم‌افزار کاربران دادگان، داده‌های CV را از گفتار پنج گویشور مرد فارسی‌زبان استخراج کرده‌ایم و هر گویشور ۲۳ همخوان و شش واکهٔ فارسی را با سرعت ثابت و به‌صورت اظهاری تولید کرده است. درمجموع، ۶۹۰ داده (شش واکه* ۲۳ همخوان* پنج گویندهٔ مرد) به‌دست‌آورده‌ایم. متغیرهای سازه‌های اول، دوم، بسامد پایه، انرژی و دیرش در هریک از واکه‌ها در کل واکه، براساس وضعیت ثابت[۴] F2 اندازه‌گیری شده‌اند. میانگین و انحراف‌معیار هریک از متغیرها را با استفاده از نرم‌افزار SPSS به‌دست آورده‌ایم.

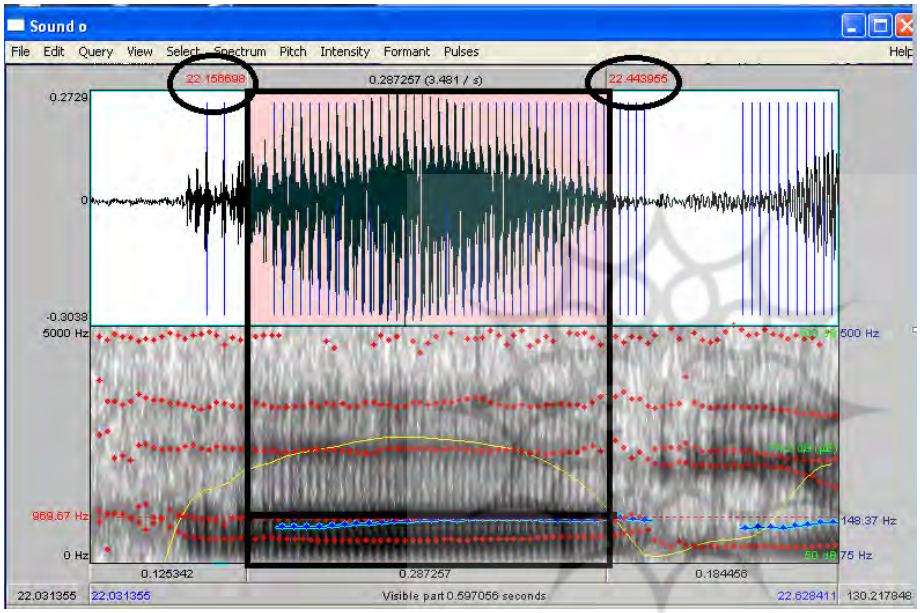
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

۱. پژوهشکدهٔ پردازش هوشمند علائم (Research Center of Intelligent Signal Processing; RCISP) از نیمه‌های سال ۱۳۷۱ درزمینه‌های مختلف پردازش سیگنال، کار خود را شروع کرده و تاکنون، در این پژوهشکده، دو دادگان ثبت شده است: یکی دادگان فارس دات تلفنی و دیگری دادگان مکالمهٔ تلفنی فارسی بزرگ.

2. T. Farsdat
3. Monologue
4. Steady State

۵. نتایج

پس‌از تقطیع واکه از همخوان، متغیرهای سازه‌های اول، دوم، بسامد پایه، انرژی و دیرش برای وضعیت ایستای[1] واکه را اندازه‌گیری کرده‌ایم. از پایان گذر F2 همخوان آغازین به واکه، آغاز واکه و آغاز گذر F2 واکه به همخوان بعدی (یا سکوت) پایان واکه تلقی شده است؛ بر این اساس، با استفاده از نرم‌افزار پرت[2] (بورسما و ونینک[3]: ۲۰۱۰) و براساس تغییرهای F2، واکه‌ها را از همخوان‌ها تقطیع کرده و برای قطعهٔ ایستای واکه، متغیرهای سازه‌های اول، دوم، بسامد پایه، شدت و دیرش را اندازه‌گیری کرده‌ایم. شکل زیر تقطیع واکهٔ /o/ در هجای /ho□/ را در گفتار اظهاری نشان می‌دهد.



شکل ۱. تقطیع واکهٔ /o/ از هجای /ho□/ در گفتار اظهاری

1. Steady State
2. Praat
3. Boresma, Paul & David Weenink

با توجه به شکل ۱، قطعهٔ ایستای واکهٔ /o/ را براساس تغییرهای F2 از ثانیهٔ ۲۲,۱۵ تا ثانیهٔ ۲۲,۴۴ اندازه‌گیری کرده و دریافته‌ایم که در این ناحیه، F2 تقریباً ثابت است و افزایش یا کاهشی در آن دیده نمی‌شود.

در جدول ۱، میانگین متغیرهای یادشده در واکه‌ها را مستقل از بافت همخوانی و در جدول ۲، انحراف‌معیار این متغیرها را بررسی کرده‌ایم. در جدول‌های ۳ و ۴، سطح معناداری، میزان F و درجهٔ آزادی را برحسب متغیرهای F0 و انرژی، در بافت همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار و بیواک، همخوان‌های رسا و همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار نشان داده‌ایم.

جدول ۱. محاسبهٔ میانگین متغیرهای F0، F2، F1، انرژی و دیرش در واکه‌ها مستقل از همخوان‌ها

Vowels	F1 (Hz)	F2 (Hz)	F0 (Hz)	F2-F1 (Hz)	Duration (Msec)	Intensity (DB)
a	۷۰۳	۱۵۳۳	۱۲۴	۸۲۹	۲۳۹	۷۴
ɑ	۶۲۷	۱۰۹۴	۱۲۵	۴۶۶	۲۷۵	۷۶
e	۵۰۱	۱۸۲۱	۱۳۰	۱۳۲۰	۲۴۹	۷۳
o	۵۰۴	۹۴۴	۱۳۳	۴۳۹	۲۸۰	۷۶
u	۴۲۵	۹۰۳	۱۳۵	۴۷۸	۲۵۲	۷۱
i	۴۱۵	۱۹۶۶	۱۳۷	۱۵۵۱	۲۳۰	۶۶

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جدول ۲. محاسبهٔ انحراف‌معیار متغیرهای F1، F2، F0، انرژی و دیرش در واکه‌ها مستقل از همخوان‌ها

Vowels	F1 (Hz)	F2 (Hz)	F0 (Hz)	Duration(Msec)	Intensity (DB)
a	۶۱/۹۵	۹۸/۲۲	۲۴/۷۲	۴۸/۳۹	۴/۴۹
ɑ	۵۳/۷۶	۵۸/۳۸	۲۱/۷۳	۵۳/۰۱	۳/۸۵
e	۵۱/۸۲	۱۳۵/۴۰	۲۷/۷۰	۴۶/۱۱	۵/۹۲
o	۴۵/۳۴	۴۸/۱۲	۲۶/۹۰	۵۲/۱۱	۳/۹۷
u	۵۶/۳۱	۱۳۷/۶۰	۲۱/۶۵	۶۴/۳۲	۳/۶۳
i	۵۵/۷۹	۲۹۸/۱۰	۲۷/۷۰	۴۲/۶۷	۴/۳۲

جدول ۳. سطح معناداری، میزان F و درجهٔ آزادی در واکه‌ها برحسب متغیر F0 در بافت همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار و بیواک (۱)، همخوان‌های رسا و همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار (۲)

واکه‌ها	سطح معناداری	میزان F	درجهٔ آزادی
a 1	۰,۸۵	۰,۰۶۸	۷۸
ɑ 1	۰,۸۶	۰,۲۸۵	۷۸
e 1	۰,۲۵	۲,۲۴۰	۷۸
o 1	۰,۷۹	۰,۰۹	۷۸
i 1	۰,۹۰	۰,۷۶۳	۷۸
u 1	۰,۸۶	۰,۱۵	۷۸
a 2	۰,۷۴	۰,۶۲۴	۶۳
ɑ 2	۰,۹۶	۰,۳۱۶	۶۳
e 2	۰,۱۰	۲,۷۶۳	۶۳
o 2	۰,۵۰	۰,۵۹	۶۳
i 2	۰,۶۵	۰,۳۸۸	۶۳
u 2	۰,۷۳	۲,۷۴۷	۶۳

در این جدودل‌ها، عدد ۱ نشان‌دهندهٔ بافت همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار و بیواک است و عدد ۲ بافت همخوان‌های رسا و همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار را نشان می‌دهد. با توجه به جدول بالا و با تأکید بر میزان F به‌دست‌آمده که هیچ‌کدام درسطح 0.05> معنادار نیستند، می‌توان گفت در واکه‌ها، تفاوتی معنادار بین بافت همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار و بیواک و نیز بافت همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار و رسا برحسب متغیر بسامد پایه وجود ندارد.

جدول ۴. سطح معناداری و میزان F در واکه‌ها برحسب انرژی در بافت همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار و بیواک (۱)، و همخوان‌های رسا و همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار (۲)

واکه‌ها	سطح معناداری	میزان F	درجهٔ آزادی
a 1	۰,۶۰	۰	۷۸
ɑ 1	۰,۹۵	۲,۵۵	۷۸
e 1	۰,۵۶	۰,۰۰۵	۷۸
o 1	۰,۹۷	۰,۶۳۷	۷۸
i 1	۰,۵۱	۰,۰۰۹	۷۸
u 1	۰,۲۶	۱,۰۳۲	۷۸
a 2	۰,۱۷	۰,۲۹	۶۳
ɑ 2	۰,۰۶	۰,۴۶۵	۶۳
e 2	۰,۱۲	۰,۲۸۲	۶۳
o 2	۰,۰۶	۴,۲۱۹	۶۳
i 2	۰,۸۷	۰,۱۲۴	۶۳
u 2	۰,۵۷	۰,۳۶۶	۶۳

در جدول بالا، با توجه به میزان F به‌دست‌آمده که درسطح 0.05> معنادار نیست، می‌توان گفت در واکه‌ها، تفاوتی معنادار بین بافت همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار و بیواک و نیز بافت همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار و رسا براساس متغیر انرژی وجود ندارد.

جدول ۵. سطح معناداری و میزان F در واکه‌ها در بافت همخوان‌های رسا

	میزان F	سطح معناداری
بسامد پایه	۱,۶۸۵	۰,۱۴۲
انرژی	۱۱,۲۴۹	۰,۰۰۰

در بافت همخوان‌های رسا از تحلیل واریانس (One Way) استفاده کرده‌ایم. با تأکید بر میزان F به‌دست‌آمده (F(df1,df2) = ۱,۶۸۵) برحسب بسامد پایه که درسطح 0.05> معنادار نیست، می‌توان دریافت که تفاوت میانگین واکه‌ها برحسب بسامد پایه در بافت همخوان‌های رسا معنادار نیست. براساس مقادیر به‌دست‌آمده برحسب انرژی با تأکید بر میزان F به‌دست‌آمده (F(df1,df2) = ۱۱,۲۴۹) که درسطح 0.05> معنادار است، می‌توان گفت میانگین واکه‌ها براساس انرژی در بافت همخوان‌های رسا، متفاوت است؛ به طوری که این اختلاف‌سطح، یک بار برای گروه واکه‌های /u, e, a, o/، (0.096=) معنادار نیست؛ درنتیجه، اختلاف میانگین این واکه‌ها در بافت همخوان رسا با یکدیگر، معنادار نیست و بار دیگر، در واکه‌های /e, a, o, ɑ / براساس (0.284=) معنادار نیست؛ بنابراین، اختلاف میانگین واکه‌های /u, e, a, o/ با یکدیگر و میانگین واکه‌های /e, a, o, ɑ / با یکدیگر در بافت همخوان‌های رسا، معنادار نیست.

۶. بحث

با توجه به جدول ۱، میزان F1 در واکه‌های افتادهٔ فارسی، بیشتر از واکه‌های میانی و افراشته است و درواقع، F1 با ارتفاع زبان، رابطهٔ عکس دارد.

F1: a > ɑ > o > e > u > i

با توجه به رابطهٔ واکه‌ها براساس F1 به‌دست‌آمده، به‌ویژه نزدیکی F1 در واکه‌های /a,ɑ/، /o, ɑ/ و /o,e/ می‌توان فرایندهای واجی زیر را که در کاهش واکه‌ای (گرایش واکه‌های ناپایدار به‌سوی یکدیگر و نیز گرایش آن‌ها به واکه‌های پایدار) روی می‌دهند، توضیح داد:

هرگاه یکی از واکه‌های ناپایدار /a,e,o/ پیش‌از بافت‌های /-hɑ / یا /-ʔ ɑ/ قرار گیرند، این سه واکه با واکهٔ /ɑ/ همگون می‌شوند (کامبوزیا، ۱۳۸۵: ۱۹۱ و ۱۹۲)؛ بر این اساس، اگر واکه‌های /a/, /o/,/e/ در گفتار محاوره‌ای، در هجای باز (CV) قرار گیرند و همخوان آغازین هجای بعد، ازنوع چاکنایی /h/ یا /ʔ/ باشد، این واکه‌ها به /ɑ/ تبدیل می‌شوند.

a → ɑ / C _ ʔ ,h ɑ
/maʔ ɑ d/ → [mɑ ʔ ɑ d] معاد

/bahɑ r/ → [bɑ hɑ r] بهار

علت کاهش و تبدیل واکهٔ /a/ به /ɑ/ را در قاعدهٔ واجی بالا می‌توان نزدیکی مقدار F1 در این دو واکه دانست. کاهش واکهٔ /o/ به /ɑ/ نیز در چنین بافتی، به‌دلیل نزدیکی مقدار F1 در این واکه‌ها روی داده است.

o → ɑ / C _ ʔ ,h ɑ
/mohɑ bɑ /→[mɑ hɑ bɑ] مهابا

/moʔ ɑ fi/→ [mɑ ʔ ɑ fi] معافی

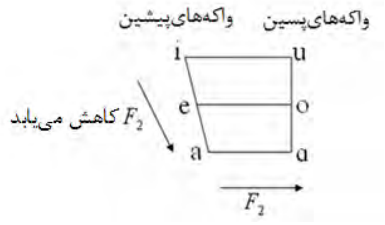
در بافت واجی زیر، واکهٔ /e/ در تک‌واژ امر /-be/ با واکهٔ ستاک در مشخصهٔ پسین همگون می‌شود (+ مرز تک‌واژ است)؛ درنتیجه، /e/ به [o] تبدیل می‌شود. دلیل این تبدیل نیز نزدیکی فرکانس سازهٔ اول (F1) در /e/ و /o/ است.

e→ o / b _ + C V(o)
/be- xor/→ [boxor] بخور

با توجه به جدول ۱، میانگین F2 در واکه‌های پیشین، بیشتر از واکه‌های پسین است؛ به عبارت دیگر، F2 با محل تولید (پسین یا پیشین)، رابطهٔ مستقیم دارد.

F2: i > e > a > ɑ > o > u

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۲

براساس شکل بالا، هرچه از ارتفاع زبان در واکه‌های پیشین کاسته شود، این واکه‌ها به محل تولید پسین نزدیک‌تر می‌شوند. با توجه به ساق‌های این ذوزنقه که در واکه‌های پیشین، مایل و در واکه‌های پسین، قائم است، می‌توان دریافت که واکه‌های /u,o,ɑ/ به یک اندازه پسین هستند؛ در حالی که واکه‌های پیشین از /i/ به /a/ به‌سوی واکه‌های پسین متمایل می‌شوند. درواقع، هرچه واکه از ساق مایل به ساق قائم گرایش پیدا کند، از میزان F2 کاسته می‌شود.

نزدیکی مقدار F2 در واکه‌های /i,e/، /e,a/، /a,ɑ / و /ɑ ,o/ و/o,u/ می‌تواند دلیلی قانع‌کننده برای کاهش و تبدیل واکه‌های ناپایدار /e,o,a/ به واکه‌های پایدار /i, u, ɑ / باشد. درواقع، واکه‌های ناپایدار به واکه‌های پایدار گرایش پیدا می‌کنند؛ زیرا مقدار F2 آن‌ها به یکدیگر نزدیک است. این واقعیت، تغییرپذیری زیاد واکه‌های ناپایدار و تمایلشان به یکدیگر (/a/→/e/ ,/e/→a/) را نیز نشان می‌دهد. قواعد واجی این تغییرها بدین صورت است:

e → i / _ Ci　　o→ u / _ Cu

/belit/→ [bilit]　بلیط　　/sopur/→ [supur]　سپور

/sebil/→ [sibil]　سبیل　　/bolur/ → [bulur]　بلور

براساس این دو قاعده، واکه‌های میانی /e,o/ در هجاهای باز با واکه‌های افراشتهٔ هجای بعدی همگون می‌شوند.

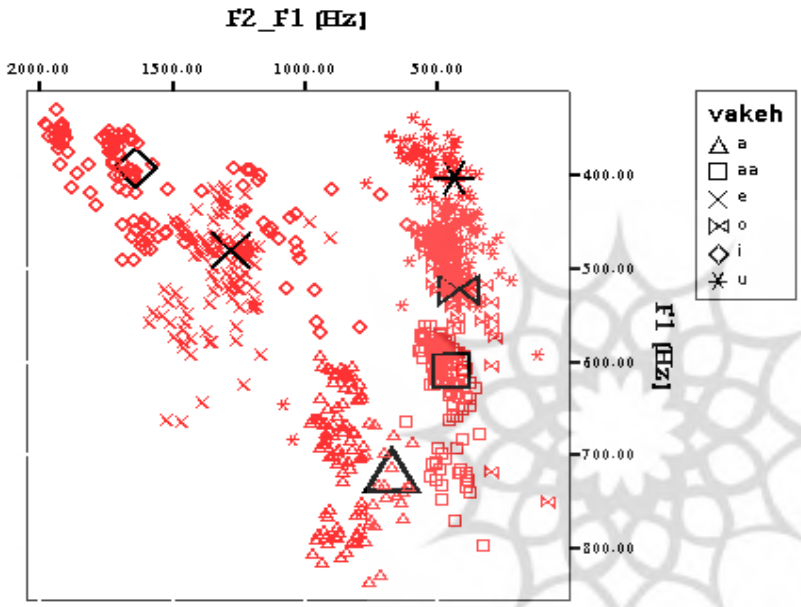
واکه‌های ناپایدار /e/,/a/ در هجای باز و پیش‌از هجای دارای واکهٔ افتادهٔ پسین یا واکهٔ افراشتهٔ پیشین، بدین صورت تغییر می‌کنند:

a → e / _ Ci　　e → a / _ Cɑ

/rafiq/ → [refiq]　رفیق　　/neh-ɑ -dan/→[nahɑ dan]　نهادن

همان گونه که پیشتر گفتیم، علت گرایش واکه‌های /a/ و /o/ به / ɑ/، نزدیکی مقادیر F1 در آن‌هاست. بررسی میزان F2 نشان می‌دهد که این واکه‌ها براساس مقادیر F2 نیز به یکدیگر نزدیک‌اند؛ بنابراین، با توجه به قواعد واجی بالا، علت تبدیل واکه‌های ناپایدار به واکه‌های پایدار ویا تبدیل آن‌ها به یکدیگر را می‌توان نزدیکی فرکانس سازهٔ دوم آن‌ها نیز دانست.

از آنجا که مقدار F2-F1، هم‌بستهٔ صوت‌شناختی‌ای دقیق‌تر در مقایسه با F2 برای محل تولید است، در نمایش فضای واکه‌ای به‌صورت ذوزنقه‌ای، از F1 و F2-F1 به‌جای F1 و F2 استفاده شده است. میانگین مقدار F2-F1 واکه‌ها را در جدول ۱ نشان داده‌ایم.



شکل ۳. میانگین واکه‌های فارسی برحسب F1 و F2-F1

با توجه به جدول ۱، مقدار F0 در واکه‌های پیشین، بیشتر از واکه‌های میانی و افتاده است.

F0: i > u > o > e > ɑ > a

بنابراین، F0 با ارتفاع زبان، نسبت مستقیم دارد؛ به عبارت دیگر، هرچه به ارتفاع واکه‌ها افزوده شود، مقدار F0 افزایش می‌یابد.

بسامد پایه همچون F1 و F2 نمی‌تواند دلیل آکوستیکی تبدیل‌ها باشد؛ زیرا اگر علت این تبدیل‌ها را بسامد پایه بدانیم، این معنا به‌دست می‌آید که زبان فارسی، به نواختی‌شدن گرایش دارد؛ در حالی که نقش بسامد پایه، ناظر به اهمیت ارتفاع زبان در این تبدیل‌ها و متأثر از F1˚F0 است.

همان گونه که پیشتر گفتیم، F0 هم‌بسته‌ای از ارتفاع واکه‌هاست و همانند F1 می‌توان از آن، برای تشخیص افراشتگی واکه‌ها استفاده کرد؛ به طوری که واکه‌های افراشته، F0 بیشتری نسبت‌به واکه‌های افتاده دارند؛ بر این اساس، تفاوت F1 و F0 در واکه‌های افراشته، کمترین مقدار و در واکه‌های افتاده، بیشترین مقدار را دارد (هی‌وارد، ۲۰۰۰: ۱۵۷ و ۱۵۸).

میانگین مقادیر به‌دست‌آمده از داده‌ها برحسب شدت، رابطهٔ زیر را نشان می‌دهد:

Intensity: ɑ = o > a > e > u > i

در واکه‌های افتاده و میانی، شدت بیشتر از واکه‌های افراشته است؛ بنابراین، هرچه از میزان ارتفاع زبان کاسته شود، از مقدار بسامد پایه نیز کم می‌شود و مقدار شدت افزایش می‌یابد. با توجه به میانگین شدت به‌دست‌آمده در واکه‌ها، شدت نسبی نمی‌تواند علت آکوستیکی تبدیل‌ها باشد؛ زیرا گرایش و تبدیل واکه‌ها به یکدیگر، با نزدیکی یا دوری میانگین مقدار انرژی آن‌ها ارتباطی ندارد.

محاسبهٔ دیرش واکه‌ها نیز نشان می‌دهد که دیرش واکه‌های ناپایداری مانند /o/ می‌تواند از دیرش واکه‌های پایدار، بیشتر باشد.

Duration: o > ɑ > a > e> i>u

بر این اساس می‌توان دلیلی قانع‌کننده برای گرایش و تغییر واکهٔ /e/ به /i/ یافت. ممکن است گفته شود تبدیل و گرایش واکهٔ /e/ به /i/ ازنوع کاهش نیست؛ زیرا با تغییر/e/ به /i/، بر کشش واکه افزوده می‌شود و نمی‌توان آن را کاهش واکه‌ای دانست. براساس مقادیر به‌دست‌آمده از دیرش واکه‌ها می‌توان نتیجه گرفت که با تبدیل واکهٔ /e/ به /i/، از مقدار دیرش کاسته می‌شود و واکه به واکهٔ /i/ کاهش می‌یابد.

با توجه به جدول ۳، سطح معناداری در واکه‌ها، در بافت همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار و بی‌واک براساس متغیرهای F0 و انرژی، معنادار نیست؛ بنابراین، قسمت اول از فرضیهٔ (د) رد

می‌شود. برپایهٔ نتایج به‌دست‌آمده، میزان F0 واکه‌ها در بافت همخوان‌های گرفتهٔ بیواک و همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار، یکسان است و بدین ترتیب، فرضیهٔ (د) اثبات می‌شود. این واقعیت، نشان می‌دهد که تقابل همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار و بیواک به‌دلیل F0 و انرژی آنها نیست؛ بلکه عوامل صوت‌شناختی دیگری مانند VOT، این تقابل را پدید می‌آورند (استریادا، ۱۹۹۷ :۶).

سطح معناداری در واکه‌ها، در بافت همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار و همخوان‌های رسا، برحسب متغیرهای بسامد پایه و انرژی نیز معنادار نیست و بر این اساس، میزان F0 و انرژی واکه‌ها در بافت همخوان‌های رسا و همخوان‌های گرفتهٔ واک‌دار، یکسان است.

سطح معناداری در واکه‌ها، برحسب متغیر F0 در بافت همخوان‌های رسا، معنادار نیست و درنتیجه، بخش اول از فرضیهٔ (ه) اثبات می‌شود. سطح معناداری در واکه‌ها را برحسب متغیر انرژی در دو گروه متفاوت بررسی کرده‌ایم؛ به طوری که این اختلاف‌سطح، یک بار برای واکه‌های /u, e, a, o/ معنادار نیست؛ درنتیجه، میانگین این واکه‌ها در بافت همخوان‌های رسا، یکسان است و بار دیگر، در واکه‌های /e, a, o, ɑ/، اختلافی معنادار وجود ندارد.

با توجه به این تحلیل، همخوان‌ها بر میزان انرژی و بسامد پایهٔ واکه‌های مجاورشان در هجای CV، اثری نمی‌گذارند. براساس زیروبمی، F0 درسطح کلمه، معنادار نیست؛ زیرا همان گونه که انتظار می‌رود، زبان فارسی، جزء زبان‌های نواختی[1] نیست که درنتیجه، تغییر سطح و جهت زیروبمی درسطح کلمه، به تغییر معنای واژگانی بینجامد؛ بلکه جزء زبان‌های آهنگی[2] است و بدین ترتیب، با تغییر سطح و جهت زیروبمی، تنها معنای بافتی پاره‌گفتارها تغییر می‌کند؛ مثلاً تغییر سطح و جهت زیروبمی در تولید واژهٔ «مداد»، به تغییر معنای واژگانی نمی‌انجامد؛ بلکه تغییر در زیروبمی تولید این کلمه سبب می‌شود که پاره‌گفتار، به‌صورت پرسشی یا خبری درآید (اسلامی، ۱۳۸۴: ۱ و ۲).

با توجه به میانگین مقادیر به‌دست‌آمده در متغیرهای وابستهٔ F1، F2، F0، و انرژی و دیرش واکه‌ها، مستقل از همخوان‌ها می‌توان نتیجه گرفت که علت گرایش واکه‌های ناپایدار /e,o,a/ به

1. Tonal Languages
2. Intonational Languages

یکدیگر و به واکه‌های پایدار، نزدیکی مقادیر برخی از متغیرهای آکوستیکی در آن‌هاست. علت کاهش واکهٔ /a/ به [ɑ] در بافت یادشده- که در گفتار محاوره‌ای، زیاد اتفاق می‌افتد- نزدیکی متغیرهای صوت‌شناختی F1 و F2، و دیرش در این دو واکه است.

علت کاهش /o/ به [ɑ] ، نزدیکی میزان F2 و F1، و دیرش آن‌هاست. کاهش /o/ به [u] نیز به‌دلیل نزدیکی F2 و کاهش /e/ به [o]، به‌علت نزدیکی مقادیر F1 این واکه‌ها روی داده است.

کاهش واکه‌های /e/ و /a/ به یکدیگر، به‌دلیل نزدیکی مقادیر F2 و دیرش آن‌هاست و در کاهش /e/ به [i] نیز F2 این واکه‌ها به هم نزدیک است.

برپایهٔ آنچه گفتیم، با استفاده از متغیرهای صوت‌شناختی می‌توان به‌آسانی، برخی فرایندهای واجی همچون کاهش واکه‌ای را تحلیل کرد.

منابع

- اسلامی، محرّم (۱۳۸۴). ***واج‌شناسی: تحلیل نظام آهنگ زبان فارسی***. تهران: سمت.

- بی‌جن‌خان، محمود (۱۳۷۴). ***بازنمایی واجی و آوایی زبان فارسی و کاربرد آن در واج‌شناسی خودکار گفتار***. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.

- پی. سیکوف، لازار و ساموئیلویچ (۱۳۸۰). ***لهجهٔ تهرانی***. ترجمهٔ محسن شجاعی. تهران: نشر آثار فرهنگستان زبان و ادب فارسی.

- ثمره، یدالله (۱۳۶۴). ***آواشناسی زبان فارسی***. تهران: مرکز نشر دانشگاهی.

- حق‌شناس، علی‌محمد (۱۳۷۶). ***آواشناسی***. تهران: آگاه.

- کامبوزیا، عالیه کرد، زعفرنلو (۱۳۸۵). ***واج‌شناسی: روی‌کردهای قاعده‌بنیاد***. تهران: سمت.

- موسوی، ندا (۱۳۸۶). «بررسی هم‌بسته‌های صوت‌شناختی تکیه در زبان فارسی». ***مجموعه‌مقالات هفتمین همایش زبان‌شناسی ایران***. دانشگاه بوعلی‌سینا. صص ۴۵۵ تا ۴۶۵.

- Boresma, Paul & David Weenink (2010). *Praat: "Doing Phonetics by Computer* . Version 5.1.27. Praat Manual. <http://www.fon.hum.uva.nl/praat>.

- Catford, J. C. (1988). *A Practical Introduction to Phonetics*. Oxford: Clarendon Press.

- Gussenhoven, Carlos (2004). *The Phonology of Tone and Intonation*. University of Nijmegan. Cambridge University Press.

- Hayward, K. (2000). *Experimental Phonetics*. England: Longman Linguistics Library.
- Kenstowicz, Michael (1994). *Phonology in Generative Grammar*. Cambridge: Blackwell Publishers. L.T.D.
- Lazard, Gilbert (1992). *Gammar of Contemporary Persian*. Mazda Publishers.
- Lindau, Mona (1978). Vowel Features . In *Language*. Vol. 54. N. 3 .Jstor. PP. 541-563.
- Research Center of Intelligent Signal Processing. <rcisp@rcisp.com>.
- Walen. D., H. Levitt. and Andrea G. (1995). *The Universality of Intrinsic F0 of Vowels*. Haskins Laboratories. 270 Crown St. New Haven.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی