فصلنامهٔ علمی زبان‌پژوهی دانشگاه الزهرا(س)
سال سیزدهم، شمارهٔ ۴۰، پاییز ۱۴۰۰/ صفحات ۲۵۵-۲۲۷

بررسی صوتی واکه‌های ترکی[۱]

وحید صادقی[۲]
سولماز محمودی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۸
نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

طرحِ مباحثی همچون سرنخ‌های صوتی واکه‌های زبان آذری و رسم فضای واکه‌ای حاصل از سازه‌های اول و دوم هر یک از واکه‌ها می‌تواند مدخل خوبی برای ورود به مبحث نظام آوایی زبان آذری باشد. تحلیل صوتی واکه‌ها در ناحیهٔ ایستا و بررسی ویژگی‌های صوتی آن‌ها با استفاده از نمودارها یا «vowel space» در بافت‌های تکیه‌ای و جایگاه‌های هجایی مختلف، هدف اصلی این پژوهش است. یافته‌ها نشان داد جایگاه هجا و بافت نوایی واکه‌ها توزیع واکه‌ها را در فضای واکه‌ای برحسب پارامترهای فرکانسی F1 و F2 به طور معنادار و نظام‌مند تغییر نمی‌دهند. همچنین، شدت تغییرات فرکانسی واکه‌ها در موضع بی‌تکیه به اندازه‌ای نیست که سبب تغییرات اساسی در کیفیت واکه‌ها شود، یعنی واکه‌ها را در جهتی خاص، مثلاً مرکز فضای واکه‌ای، سوق دهد. یافته‌های به‌دست‌آمده همچنین نشان داد بین واکه‌های عضو هر یک از جفت‌واکه‌های [i]-[y]، [e]-[ø] و [ɯ]-[ø] یک تقابل صوتی از نظر ویژگی گردی برقرار است. نتایج مربوط به دیرش نیز نشان داد واکه‌های آذری را از نظر الگوی دیرش می‌توان بر روی

---

[۱] شناسهٔ دیجیتال (DOI): 10.22051/JLR.2021.32989.1920

[۲] دکتری تخصصی زبانشناسی، دانشیار گروه زبان‌شناسی، هیأت علمی دانشگاه بین المللی امام خمینی؛
vsadeghi@hum.ikiu.ac.ir
[۳] دکتری تخصصی زبانشناسی، استادیار گروه زبان‌شناسی، هیأت علمی دانشگاه آتاترک؛
solmaz.mahmoodi@grv.atauni.edu.tr

پیوستاری قرار داد که در آن، واکه‌های [y، i، u] کوتاه‌ترین واکه‌ها و واکه‌های [ø، æ، ɑ] بلندترین واکه‌ها هستند و گروه‌های واکه‌ای [ɯ، u، i]، [u، ɯ، e، o] و [o، ø] دیرشی در اندازهٔ متوسط دارند که با درجات مختلف به ترتیب در وسط پیوستار قرار می‌گیرند.

واژه‌های کلیدی: سازهٔ فرکانسی، فضای واکه، کیفیت واکه، تکیه، هجا.

۱. مقدمه

زبان ترکی (گونهٔ دیگری از زبان ترکی)، در آذربایجان و ایران به آن سخن گفته می‌شود (Johanson, 2010). پس از زبان فارسی (زبان رسمی کشور ایران) زبان ترکی با تقریباً ۱۵ تا ۲۰ میلیون گویشور بیشترین گویشور را در ایران دارد (Crystal, 2010). نظام واکه‌ای در این زبان شامل ۹ واکهٔ ساده است که براساس سه ارزش سطح ارتفاع زبان، پیشین-پسین و گردی لب‌ها از یک‌دیگر متمایز می‌شوند (Mansuri et al., 2018, p. 32). از جنبهٔ پارامتر سطح ارتفاع زبان، واکه‌ها به سه سطح افراشته (i، u، y، ɯ)، نیمه‌افراشته (e، ø، o)، و افتاده (æ، ɑ)، گروه‌بندی می‌شوند. از نظر پارامتر پیشین-پسین، واکه‌ها به دو طبقهٔ پیشین (i، y، e، ø، æ) و پسین (ɯ، u، ɑ، o) و از نظر پارامتر گردی واکه‌ها به دو دستهٔ گرد (ø، o، u، y) و گسترده (æ، ɑ، ɯ، i، e) دسته‌بندی می‌شوند (Ghaffarvand & Werner, 2016, p. 504). این واکه‌ها در فضای آکوستیکی از طریق فرکانس سازه‌های F1 و F2 از یک‌دیگر متمایز می‌شوند. سازه‌های سه فرکانس اول مهمترین سازه‌هایی هستند که اطلاعات لازم برای تمایز واکه‌ها را نشان می‌دهند (Hagino et al., 2008). فرکانس F1 همبستهٔ آکوستیکی سطح ارتفاع زبان و فرکانس F2 همبستهٔ آکوستیکی پیشین و پسین‌بودن است (Wang & Van Heuven, 2006). این پژوهش می‌کوشد تا به بررسی رفتار آوایی واکه‌های زبان ترکی ایران بپردازد. از این رو، با بررسی و مقایسه الگوی توزیع ترکیبی فرکانس‌های F1×F2 واکه‌ها در دو موضع تکیه‌بر به‌عنوان جایگاه اصلی تظاهر آوایی واکه‌ها (Sadeghi, 2013) و بی‌تکیه، کیفیت آوایی واکه‌های ترکی را در فضای آکوستیکی مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

۲. پیشینه پژوهش

در واکه‌های فارسی، فقط مشخصه‌های ارتفاع زبان و محل تولید واکه سبب ایجاد تقابل می‌شوند، بر این اساس در بررسی صوت‌شناختی فقط با دو سازهٔ F1 و F2 می‌توان این تقابل را نمایش داد؛ به این صورت که مقدار F1 در واکه‌های افراشته، کمتر از واکه‌های میانی و افتاده‌است و مقدار

F2 نیز در واکه‌های پسین، کمتر از واکه‌های پیشین است (Bijankhan, 1990).

بی‌جن‌خان (Bijankhan, 2013) فضای واکه‌ای زبان فارسی را برحسب مقیاس خطی هرتز و مقیاس‌های غیرخطی مل، بارک و ارب به دست آورده‌است. او نشان داده است در فضای واکه‌ای فارسیِ امروز هرچه از واکهٔ پیشین افراشتهٔ /ɪ/ به سمت واکه‌های افتاده و از آن‌جا به سمت واکهٔ پسین افراشتهٔ /ʊ/ پیش می‌رود، میزان همپوشی واکه‌ای بیشتر می‌شود. به بیان دیگر، همپوشی /ɪ/ و /ʊ/کمینه و همپوشی /ʊ/ و /o/ بیشینه است. بی‌جن‌خان (Bijankhan, 1995)؛ پیامدهای واجی ناشی از فاصلهٔ آکوستیکی واکه‌ها را با یکدیگر در فضای واکه‌ای به صورت تعدادی گزارهٔ واجی تشریح کرده‌است. این گزاره‌ها به‌طورکلی پیش‌بینی می‌کنند هر قدر فاصلهٔ آکوستیکی بین دو واکه در فضای واکه‌ای کمتر باشد (یا همپوشی بین آن‌ها بیشتر باشد)، احتمال وقوع تغییر واجی بین آن‌ها بیشتر است.

مدرسی‌قوامی (Modarresi Ghavami, 2011) در یک بررسی صوتی از واکه‌ها نشان داد، گرچه تمایز میان واکه‌های ساده یک تفاوت کیفی است اما هنوز میان واکه‌های کوتاه و واکه‌های بلند از جنبهٔ رفتاری که در نظام آوایی فارسی دارند تفاوت‌هایی مشاهده می‌شود. وی (Modarresi Ghavami, 2014) با بررسی دیرش واکه‌های فارسی در هجای باز بی‌تکیه و تکیه‌بر در گفتار ۶ زن و مرد نشان داد که تمایز دیرشی بین دو گروه واکه در هجای باز بی‌تکیه مشاهده می‌شود اما در هجای باز تکیه‌بر چنین تمایزی وجود ندارد.

مدرسی‌قوامی (Modarresi Ghavami, 2014) در پژوهش دیگر به این نتیجه رسید که میان دیرش واکه‌های کوتاه و بلند در هجای بستهٔ تکیه‌بر نیز تفاوت معناداری وجود دارد، این تفاوت نه تنها در دیرش کلی واکه‌ها مشاهده می‌شود بلکه میان دیرش هدف و گذر سازه‌ای نیز تفاوت وجود دارد واکه‌های بلند ایستای طولانی و گذر کوتاه دارند و واکه‌های کوتاه ایستای کوتاه و گذرسازه‌ای بلندی دارند یعنی در تولید آن‌ها اندام‌های گفتار در مقایسه با واکه‌های بلند برای مدت کوتاه‌تری در وضعیت لازم برای تولید واکه باقی می‌مانند.

اسفندیاری و علی‌نژاد (Esfandiari & Alinezhad, 2016) در مطالعهٔ ویژگی‌های آکوستیکی واکه‌های زبان فارسی میزان فاصلهٔ سازه‌های اول و دوم با هم و نیز فاصلهٔ سازه‌های دوم و سوم را برای هر یک از واکه‌ها بررسی کردند. آن‌ها با ترسیم فضای واکه‌ای دو زبان فارسی و انگلیسی نشان دادند که سازه‌های اول و دوم شش واکهٔ مشترک در این دو زبان مشابه‌اند و تفاوت بیشتر در واکه‌های پسین و افتاده است.

صادقی و منصوری هره‌دشت (Sadeghi & Mansoory Harehdasht, 2016) در بررسی الگوی تغییرات فرکانس سازه‌های F1 و F2 واکه‌های زبان فارسی در موضع بی‌تکیه نشان دادند

که تغییرات فرکانسی سازه‌ها تا اندازهٔ زیادی وابسته به نوع واکه است. بیشتر واکه‌ها تغییرات فرکانسی کمی دارند و فقط واکهٔ /ɑ/ با تغییر الگوی تکیه به سمت نواحی مرکزی فضای واکه‌ای متمایل می‌شود. صادقی (Sadeghi, 2015) همچنین نشان داد که کیفیت واکه‌ها نسبت به بافت همخوانی مقاوم است. افزون بر این، دیدگاه کاهش بافتی در مورد تغییرات کاهشی واکه‌ها در زبان فارسی پیش‌بینی درستی به دست نمی‌دهد.

غفاروندمُکاری و ورنر (Ghaffarvand & Werner, 2016) برای یافتن ویژگی‌های زمانی و فضایی ۹ واکهٔ آذری، با بهنجارسازی صوتی واکه‌ها با رویکرد درونی، فرکانس سه سازهٔ اول، فرکانس پایه و دیرش واکه‌ها را در دو گروه مردان و زنان مورد بررسی قرار داد. وی نشان داد که واکه‌های [ɯ] و [ø] در فضای واکه‌ای کاملاً با هم همپوشی دارند اما تفاوت دیرشی ۳۰ میلی‌ثانیه‌ای سازه‌های اول و دوم دو واکه و نتایج آزمون تشخیص خطی (الگریتم ال.دی.ای[1]) از فرکانس سازهٔ سوم آن‌ها است که مهمترین سرنخ برای تمایز این دو واکه از سوی شنوندگان می‌شود. به بیانی مقادیر فرکانس سازهٔ سوم این دو واکه تفاوت اساسی دارند. از سوی دیگر اختلاف فرکانس سازهٔ دوم بین دو واکهٔ [i] و [o] بسیار اندک است.

یافته‌های بررسی مظفرزاده‌پیوستی (Mozaffarzadeh Peivasti, 2012) از واکه‌های آذری با ارائه مقادیر میانگین واحدی از فرکانس اول و دوم برای هر واکه از کل شرکت‌کنندگان زن و مرد نشان داد که مقادیر فرکانس سازهٔ دوم واکه‌های [u] و [o] یکسان است. این در حالی است که غفاروند و ورنر (Ghaffarvand & Werner, 2016) بر این نکته اشاره کرد که مظفرزاده‌پیوستی (Mozaffarzadeh Peivasti, 2012) با نادیده‌گرفتن تاثیر جنسیت، بهره نگرفتن از روش‌های مختلف بهنجارسازی واکه‌ها و نادیده‌گرفتن سازهٔ سوم و فرکانس پایه به بازنمایی نادقیقی از فضای واکه‌ای دست یافته‌است. زیرا تفاوت‌های آناتومیکی مجرای گفتار زنان و مردان منجربه تفاوت ابعاد فضای واکه‌ای می‌شود.

منصوری و همکاران (Mansuri et al., 2018) در بررسی ساختار سازه‌ای ۹ واکهٔ آذری نشان دادند فرکانس پایهٔ واکه‌های /ɑ/ و /i/ در زنان، به طور معناداری بالاتر از مردان است. هر چند فرکانس پایه در هر دو جنس در زبان آذری کمتر از زبان فارسی است یعنی واکه‌ها در زبان آذری بم‌تر تولید می‌شوند. واکه‌های /æ/ و /i/ در هر دو جنس، به ترتیب، دارای بیشترین و کمترین F1 هستند. بیشترین F2 در هر دو جنس /i/ و کمترین F2 در مردان /æ/ و در زنان /o/ است. همچنین، در هر دو جنس بیشترین F3 /i/ و کمترین /ø/ می‌باشد. واکه‌های /æ/ و /i/ در هر

[1] Linear Discriminant Analysis (LDA)

دو جنس به ترتیب، بازترین و بسته‌ترین واکه‌ها هستند. واکهٔ /i/ در هر دو جنس و واکهٔ /æ/ در مردان و /o/ در زنان به ترتیب پیشین‌ترین و پسین‌ترین واکه‌ها هستند. گردترین واکهٔ آذری /ø/ و گسترده‌ترین آن‌ها واکهٔ /i/ است.

پژوهش حاضر سعی در شناخت ویژگی‌های صوت‌شناختی طبقهٔ خاصی از آواها، واکه‌های ساده زبان ترکی آذری دارد و در واقع، به‌دنبال بررسی وضعیت F1، F2 و F3 واکه‌های ساده در بافت واژه بین گویشوران مرد و زن و تفاوت کیفیت واکه‌های ساده در بافت تکیه‌بر و بی‌تکیه و در جایگاه هجای باز و بسته است.

۳. روش پژوهش

روش به‌کاررفته در این پژوهش، روش واج‌شناسی آزمایشگاهی است. به ازای هر یک از واکه‌های ترکی آذری ([æ، ɑ، e، ø، o، y، ɯ، i، u]) چهار واژه بسیطِ (بدون پسوند) دو هجایی با ساخت cv(c).cv(c)، از واژه‌های طبیعی زبان آذری انتخاب شدند. به گونه‌ای که واکه‌های هدف علاوه بر دو جایگاه هجای باز و هجای بسته، یک بار در بافت تکیه‌بر[1] (به طور مشخص در جایگاه تکیه زیروبمی هسته) و بار دیگر در موضع بی‌تکیه قرار گرفتند تا اثر احتمالی بافت نوایی بر کیفیت واکه کنترل گردد.

از ۱۰ گویشور آذری زبان (۵ مرد و ۵ زن) بازهٔ سنی ۲۰ تا ۴۵ سال که همگی تحصیلات دانشگاهی داشتند خواسته شد تا ۱۴۴ واژهٔ هدف پژوهش را در محیط آزمایشگاهی دو بار تولید کنند. به این ترتیب تعداد ۲۸۸۰=۴(کلمه)×۲(تکیه)×۲(هجا)×۲(تکرار)×۹(واکه)×۱۰(گویشور) کلمه ضبط شد. به سبب آنکه محاسبات آماری اولیه نشان داد هیچ تعاملی بین جنسیت و متغیرهای واجی تحقیق یعنی تکیهٔ واژگانی و جایگاه هجا وجود ندارد، جنسیت شرکت‌کنندگان در طراحی آزمون‌های آماری در نظر گرفته نشد.[2] برای ضبط دیجیتالی داده‌های آزمایش از میکروفون

---

[1] محل وقوع تکیهٔ واژگانی بیشتر روی هجای پایانی واژه‌ها قرار می‌گیرد و این الگو دربارهٔ گونه‌های مختلف واژه‌های آذری از جمله اسم، صفت، قید، فعل و موارد مشابه صادق است. بیشتر پسوندهای اشتقاقی و تصریفی تکیه‌برند ولی برخی از پسوندهای اشتقاقی و واژه‌بست‌ها، نوعی دیگر از وندهای غیراشتقاقی، فاقد تکیه‌اند و بنابراین وقتی این نوع وندها به واژه افزوده می‌شوند، جایگاه تکیهٔ واژه تغییر نمی‌کند (Aram, 2009). هر چند از آن‌جایی که محل وقوع تکیه همواره در پایان واژه قرار نمی‌گیرد و فرایندهای وندافزایی در مشخص‌کردن جایگاه آن مؤثر است در این پژوهش از واژه‌های بسیط بدون پسوند استفاده شده‌است.

[2] منظور آن است که در تحلیل‌های آماری مشخص شد هر تأثیری که دو متغیر تکیهٔ واژگانی و جایگاه هجا بر مقادیر فرکانس‌های F1 و F2 در داده‌های گفتاری مردان دارد، عیناً همان تأثیر را متغیرهای مورد نظر بر پارامترهای صوتی F1 و F2 در گفتار زنان نیز دارد. برای نمونه، اگر متغیر تکیهٔ واژگانی در گفتار مردان سبب افزایش فرکانس F1

حرفه‌ای بیبردایناميک مدل TGL55C و کارت صوتی اکسترنال ساند بلاستر مدل X-F1 استفاده شد. ضبط داده‌ها با نرخ نمونه‌برداری ۱۱۰۵۰ هرتز ضبط شدند.

تحلیل صوت‌شناختی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار پرت ویرایش ۶/۰۸/۱ بورزما و وینینک (Boersma & Weenink, 2019) روی طیف‌نگاشت با پهنای نوار متوسط انجام شد. دلیل استفاده از این نرم‌افزار، دقت زمانی بالا و امکان تحلیل همزمان موج صوتی و طیف‌نگاشت و نیز در دسترس‌بودن آن است. حداکثر فرکانس سازه‌ها برای مشاهدهٔ الگوهای طیفی، ۵ کیلوهرتز انتخاب شد. شبکه‌های متنی ۱۴۴۰ واژه در محیط پرت[1] (در مسیر sound>annotate>to text gride) ساخته شدند و در پوشهٔ هر واژه، واکه هدف کلمات برچسب‌گذاری شدند. برای اندازه‌گیری فرکانس سازه‌ها، بخش ایستای واکه‌ها برچسب‌گذاری شدند. بخش ایستا از مرکز واکه به طول ۳۰ تا ۴۰ میلی‌ثانیه (بسته به دیرش واکه) انتخاب شد. طی این محدوده معمولاً سازه‌ها ثابت هستند و کمترین تاثیرپذیری از همخوان‌های اطراف دارند. برای استخراج سازه‌ها از یک برنامه نرم‌افزاری تحت پرت با نام فورمانت پرو[2] ویرایش ۱/۴/۱ شو (Xu, 2018) بهره گرفته شد. در این برنامه برای محاسبهٔ فرکانس سازه‌ها از مسیر interactive label>run>apply استفاده شد. این برنامه علاوه‌بر محاسبهٔ پارامترهای حوزهٔ فرکانس و زمان موج صوتی در (محدودهٔ زمانی برچسب‌گذاری‌شدهٔ) هر یک از محرک‌های تولیدی (در اینجا هر واژهٔ تولیدشده به وسیلهٔ یک گویندهٔ خاص) هدف آزمایش، متوسط مقادیر پارامترهای صوتی و مقادیر بهنجارشدهٔ فرکانس سازه‌ها را در سطح تمامی محرک‌ها به‌دست می‌دهد.[3]

مقادیر فرکانس سازه‌های F1 و F2 به عنوان همبسته‌های اصلی کیفیت واکه اندازه‌گیری شدند. مطابق با پیشینهٔ مطالعات صوتی، مقادیر پارامتر F1 (همبستهٔ آکوستیکی سطح ارتفاع زبان) بر روی محور عمودی و F2 (همبستهٔ آکوستیکی پیشین پسین) بر روی محور افقی در مقیاس هرتز در یک فضای دوبعدی نشان داده خواهد شد (Bijankhan, 2013; Esfandiari, & Alinezhad, 2016; Sadeghi & Mansoory Harehdasht, 2016; Bigdeli1 & Sadeghi, 2020).

یک واکه و کاهش فرکانس F2 آن واکه می‌شود، روند افزایشی F1 و کاهشی F2 به صورت تابعی از متغیر تکیهٔ واژگانی در گفتار زنان نیز مشاهده می‌شود.

[1] praat

[2] formant pro

[3] برای اطمینان از درستی اندازه‌گیری‌های انجام‌شده، تمام اندازه‌گیری‌ها یک‌بار به شیوهٔ دستی کنترل شد و موارد اشتباه ناشی از خطاهای اندازه‌گیری خودکار در نرم‌افزار، در تحلیل‌های پسین کنار گذاشته شد.

برای انجام تحلیل‌های آماری ابتدا هنجاربودن توزیع داده‌ها براساس آزمون لوین[1] و یکنواخت‌بودن پراش (واریانس) گروه‌ها براساس آزمون شاپیرو[2] بررسی شد. یافته‌ها نشان داد در تمامی مقایسه‌ها، توزیع داده‌ها به‌هنجار ($p>0.05$) است و فرض یکنواخت‌بودن واریانس گروه‌ها برقرار نیست ($p>0.05$). بنابراین از آزمون پارامتری برای تحلیل آماری داده‌ها استفاده شد. همچنین، با توجه به تعداد بیش از یک متغیر مستقل در پژوهش، از آزمون آنووا برای این منظور استفاده شد. بر این اساس، تعدادی آزمون تحلیل آنووای دوعامله برای هر یک از واکه‌های هدف جهت محاسبه معناداری اثر عوامل تکیهٔ واژگانی و جایگاه هجا (به عنوان عوامل مستقل) بر مقادیر فرکانس‌های F1 و F2 (عوامل وابسته) انجام شد.

٤. اندازه‌گیری واکه‌های مجزا

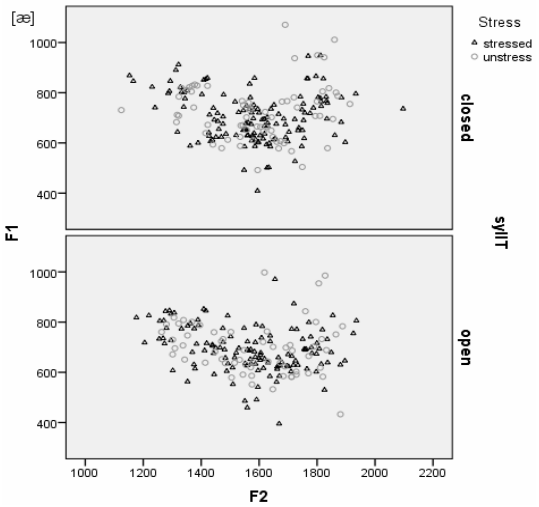
در این بخش به بررسی کیفیت هر یک از واکه‌های ترکی آذری در هجاهای باز و بسته و در بافت‌های تکیه‌بر و بی‌تکیه براساس الگوی تغییرات فرکانس سازه‌های F1 و F2 می‌پردازیم. در این شکل‌ها، نشانهٔ دایره با رنگ خاکستری نمایانگر موضع بی‌تکیه و نشانه مثلث با رنگ سیاه نمایانگر موضع تکیه‌بر است.

شکل (۱) مقادیر سازه‌های F1 و F2 را برای واکهٔ [æ] برحسب مقیاس خطی هرتز نشان می‌دهد. توزیع مقادیر فرکانس سازه‌های F1 و F2 واکهٔ [æ] در دو موضع تکیه‌بر و بی‌تکیه تفاوت منظم و محسوسی نشان نمی‌دهد. همچنین توزیع مقادیر F1 و F2 در بافت تکیه‌بر و بی‌تکیه در جایگاه‌های هجایی باز و بسته تقریباً یکسان است. تمرکز فرکانس سازهٔ F1 در محدودهٔ فرکانسی بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ هرتز است و تمرکز بیشینهٔ فرکانس سازهٔ F2 در نواحی ۱۳۰۰ تا ۱۹۰۰ هرتز است. یافته‌های تحلیل‌های آماری نشان داد تغییرات هیچ یک از فرکانس‌های F1 و F2 برای این واکه به صورت تابعی از جایگاه هجایی و موضع نوایی معنادار نیست. نتایج کامل تحلیل‌های آماری در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده‌است.

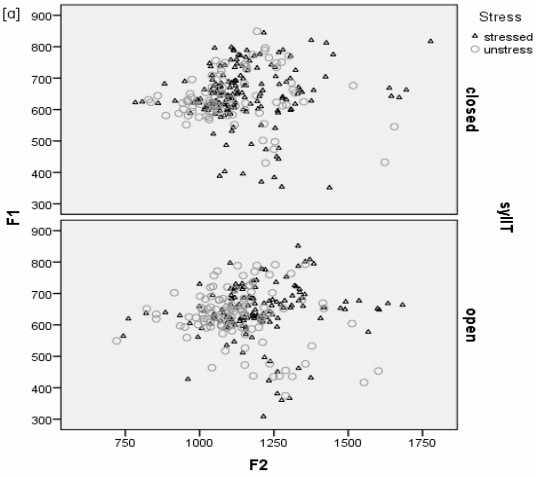
شکل (۲)، توزیع مقادیر فرکانس سازه‌های F1 و F2 را برای واکهٔ [ɑ] در هجاهای باز و بسته و در بافت‌های تکیه‌بر و بی‌تکیه نشان می‌دهد. توزیع مقادیر فرکانس سازهٔ F1 واکه [ɑ] تفاوت منظم و قابل‌ملاحظه‌ای بین دو موضع تکیه‌بر و بی‌تکیه نشان نمی‌دهد. تمرکز بیشینهٔ فرکانس سازهٔ F1 این واکه همانند [æ] در هر دو موضع نوایی در ناحیه ۶۰۰ تا ۸۰۰ هرتز است. اما عامل تکیه بر توزیع مقادیر فرکانس سازهٔ F2 این واکه تا حدودی تأثیرگذار بوده است. تمرکز بیشینهٔ فرکانس

[1] Levene test
[2] Shapiro test

سازهٔ F2 در موضع بی‌تکیه با عقب‌کشیدن بدنهٔ زبان تا حدودی کاهش‌یافته و از میزان ۱۰۵۰ هرتز در موضع تکیه‌بر به حدود ۱۱۰۰ در موضع بی‌تکیه رسیده است. یافته‌های آماری در جدول (۲) نشان داد که تغییرات فرکانس سازهٔ F2 در موضع تکیه‌بر و بی‌تکیه برای این واکه معنادار است. از سوی دیگر، مقایسهٔ الگوی توزیع مقادیر فرکانس سازه‌های F1 و F2 واکهٔ [ɑ] در جایگاه‌های هجایی باز و بسته تفاوت محسوسی را بین این جایگاه‌ها نشان نمی‌دهد. نتایج مقایسه‌های آماری نشان داد اختلاف مقادیر F1 و F2 واکهٔ [ɑ] در جایگاه‌های هجایی باز و بسته معنادار نیست.

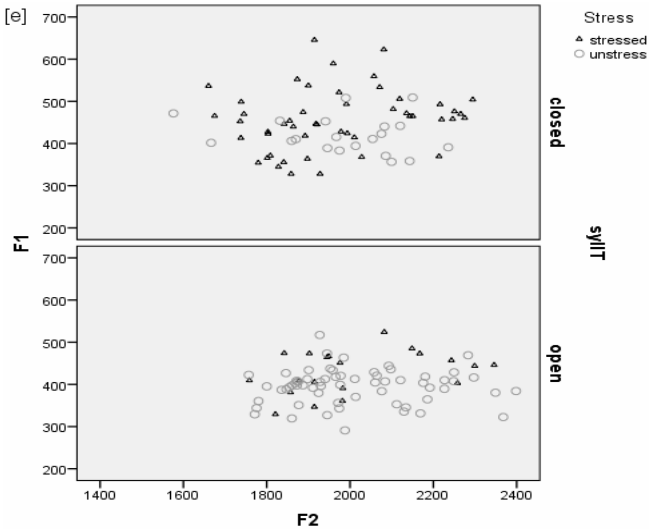


شکل۱: توزیع مقادیر فرکانس F1 و F2 برای واکهٔ [æ] در هجاهای باز و بسته و در بافت‌های تکیه‌بر و بی‌تکیه



شکل۲: توزیع مقادیر فرکانس F1 و F2 برای واکهٔ [ɑ] در هجاهای باز و بسته و در بافت‌های تکیه‌بر و بی‌تکیه

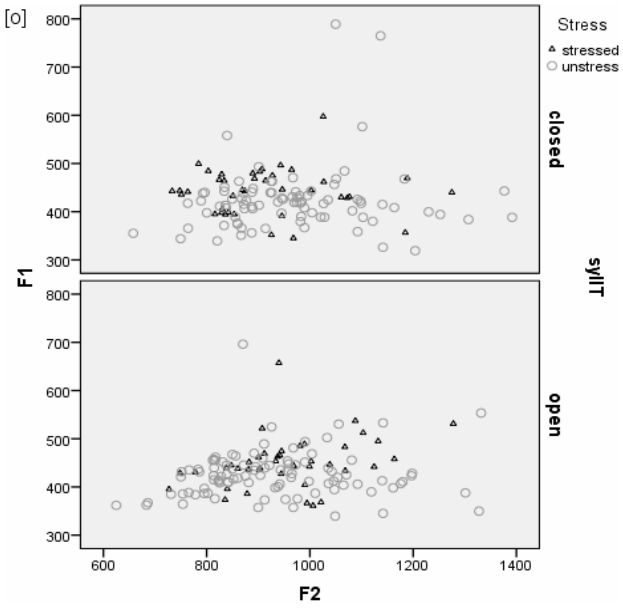
شکل (۳)، الگوی توزیع مقادیر فرکانس‌های F1 و F2 را برای واکهٔ [e] در هجاهای باز و بسته و در بافت‌های تکیه‌بر و بی‌تکیه نشان می‌دهد. تمرکز فرکانس سازهٔ F1 واکهٔ [e] در موضع بی‌تکیه حدود ۳۵۰ هرتز و در موضع تکیه‌بر ۴۵۰ هرتز است. همچنین، تجمع مقادیر فرکانس سازهٔ F1 در هجای باز بین ۳۰۰ تا ۴۵۰ هرتز است، در حالی که تمرکز این فرکانس در هجای بسته بین ۳۵۰ و ۵۵۰ هرتز است. کاهش نسبی مقادیر فرکانس سازهٔ F1 در در موضع بی‌تکیه نسبت به موضع تکیه‌بر و هجای باز نسبت به هجای بسته ناشی از افزایش نسبی سطح ارتفاع بدنهٔ زبان است. یافته‌های تحلیل‌های آماری نشان داد اختلاف مقادیر فرکانس سازهٔ F1 در هجای باز و بسته برای این واکه معنادار است. مطابق شکل (۳)، توزیع مقادیر فرکانس سازهٔ F2 تفاوت چشمگیری مابین دو موضع تکیه‌بر و بی‌تکیه در هیچ یک از جایگاه‌های هجایی نشان نمی‌دهد. تمرکز فرکانس سازهٔ F2 در تمامی بافت‌های نوایی و جایگاه‌های هجایی مربوطه در نواحی فرکانسی ۱۸۰۰ تا ۲۳۰۰ هرتز است. نتایج آماری نشان داد اثر موضع نوایی و جایگاه هجایی بر فرکانس F2 معنادار نیست.



شکل۳: توزیع مقادیر فرکانس F1 و F2 برای واکهٔ [e] در هجاهای باز و بسته و در بافت‌های تکیه‌بر و بی‌تکیه

شکل (۴)، الگوی توزیع مقادیر فرکانس‌های F1 و F2 را برای واکهٔ [o] در هجاهای باز و بسته و در بافت‌های تکیه‌بر و بی‌تکیه نشان می‌دهد. تمرکز مقادیر فرکانس F1 واکهٔ [o] در موضع بی‌تکیه در نواحی ۴۰۰ هرتز است در حالی که در موضع تکیه‌بر مقادیر این فرکانس در نواحی

۵۰۰ هرتز تمرکز یافته‌اند. تغییرات فرکانس سازهٔ F1 به صورت تابعی از موضع تکیه برای این واکه معنادار بود.

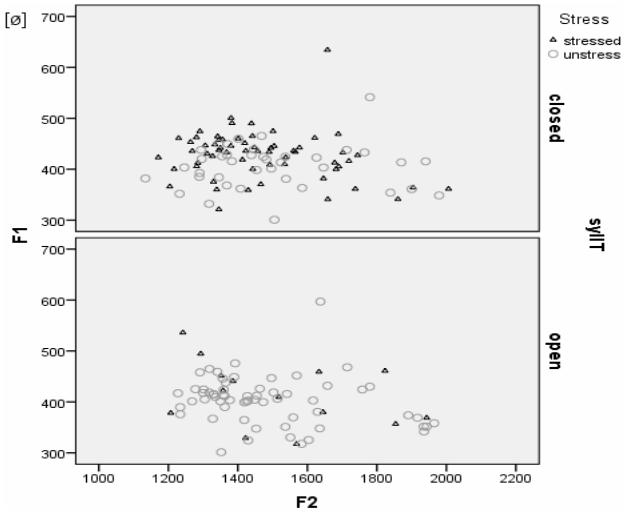


شکل٤: توزیع مقادیر فرکانس F1 و F2 برای واکهٔ [o] در هجاهای باز و بسته و در بافت‌های تکیه‌بر و بی‌تکیه

این شکل همچنین نشان می‌دهد الگوی کلی پراکندگی مقادیر فرکانس F2 در دو موضع بی‌تکیه و تکیه‌بر با یک‌دیگر شباهت دارد. یافته‌های آماری نشان داد اختلاف مقادیر فرکانس F2 برای این واکه در دو موضع تکیه‌بر و بی‌تکیه معنادار نیست. همچنین مطابق شکل (۴)، توزیع مقادیر هر دو فرکانس F1 و F2 در جایگاه‌های هجایی باز و بسته تقریباً شبیه به یک‌دیگر است. در نتایج آماری به‌دست آمده اثر جایگاه هجایی بر مقادیر هیچ یک از دو فرکانس F1 و معنادار نبود.

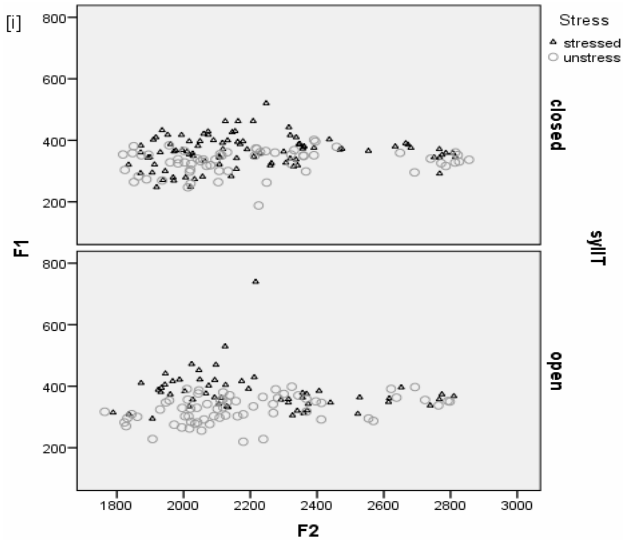
شکل (۵)، پراکندگی مقادیر فرکانس سازه‌های F1 و F2 را برای واکهٔ [ø] در هجاهای باز و بسته و در بافت‌های تکیه‌بر و بی‌تکیه نشان می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود توزیع مقادیر فرکانس‌های F1 و F2 واکهٔ [ø] در دو موضع تکیه‌بر و بی‌تکیه تفاوت منظم و محسوسی را نشان نمی‌دهد. همچنین، توزیع مقادیر این فرکانس‌ها در جایگاه‌های هجایی باز و بسته نیز صرف‌نظر از الگوی تکیه‌ای این واکه مشابه یک‌دیگر است. به طور کلی، هیچ ناحیهٔ مشخصی از فرکانس‌های F1 و F2 تجمع مقادیر را به نفع یکی از دو موضع تکیه‌بر و بی‌تکیه و یکی از جایگاه‌های هجایی باز و بسته نشان نمی‌دهد. در تمامی موارد، بیشینهٔ تمرکز مقادیر فرکانس F1 [ø] در محدودهٔ

فرکانس‌های ۴۰۰ تا ۴۵۰ هرتز و بیشینهٔ تمرکز فرکانس F2 [ø] در محدودهٔ فرکانس‌های ۱۳۰۰ تا ۱۵۰۰ هرتز است. نتایج تحلیل آماری داده‌ها نشان داد هیچ یک از عوامل تکیهٔ واژگانی و جایگاه هجایی بر کیفیت واکهٔ [ø] در آذری تاثیرگذار نیست.



شکل۵: توزیع مقادیر فرکانس F1 و F2 برای واکهٔ [ø] در هجاهای باز و بسته و در بافت‌های تکیه‌بر و بی‌تکیه

شکل (۶)، توزیع مقادیر فرکانس سازه‌های F1 و F2 را برای واکهٔ [i] در هجاهای باز و بسته و در بافت‌های تکیه‌بر و بی‌تکیه نشان می‌دهد. تمرکز فرکانس سازهٔ F1 واکه [i] در موضع بی‌تکیه در ناحیهٔ ۳۰۰ هرتز و در موضع تکیه‌بر در نواحی ۳۵۰ تا ۴۰۰ هرتز است. به بیان دیگر، تجمع مقادیر بر روی فرکانس‌های پائین‌تر F1 در موضع بی‌تکیه از موضع تکیه‌بر بیشتر است. این واقعیت مؤید آن است که F1 در موضع بی‌تکیه در اثر افزایش سطح ارتفاع بدنهٔ زبان تا حدودی کاهش پیدا کرده است. نتایج آزمون‌های آماری نشان داد اختلاف مقادیر فرکانس F1 واکهٔ [i] در موضع تکیه‌بر و بی‌تکیه با یک‌دیگر معنادار است.



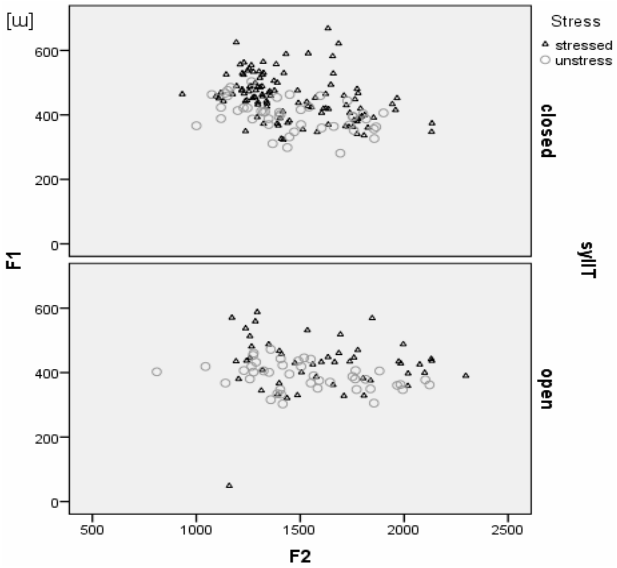
شکل٦: توزیع مقادیر فرکانس F1 و F2 برای واکهٔ [i] در هجاهای باز و بسته و در بافت‌های تکیه‌بر و بی‌تکیه

همچنین، توزیع مقادیر F1 در هر دو بافت تکیه‌بر و بی‌تکیه در هجای باز و بسته در نواحی نسبتاً یکسانی انجام گرفته‌است. بر پایهٔ یافته‌های آماری، اختلاف مقادیر F1 واکهٔ [i] در هجاهای باز و بسته با یک‌دیگر معنادار نبود. از سوی دیگر، مطابق شکل (۶) توزیع مقادیر F2 در بافت تکیه‌بر و بی‌تکیه و در جایگاه‌های هجایی باز و بسته تقریباً یکسان است. در تمامی موارد، بیشینهٔ تمرکز فرکانس سازهٔF2 در محدودهٔ فرکانس های ۱۸۰۰ تا ۲۴۰۰ هرتز است. نتایج تحلیل‌های آماری نشان داد اثر هیچ یک از دو عامل تکیه و جایگاه هجایی بر مقادیر فرکانس F2 معنادار نیست.

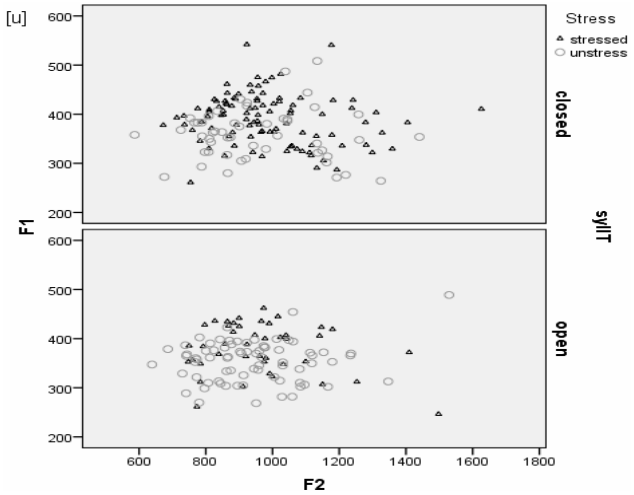
شکل (۷)، توزیع مقادیر سازه‌های F1 و F2 را برای واکهٔ [ɯ] در هجاهای باز و بسته و در بافت‌های تکیه‌بر و بی‌تکیه نشان می‌دهد. تمرکز فرکانس F1 واکهٔ [ɯ] در موضع بی‌تکیه در محدودهٔ فرکانس‌های ۳۵۰ تا ۴۰۰ هرتز و در موضع تکیه‌بر در محدودهٔ فرکانس‌های ۴۰۰ تا ۴۵۰ هرتز است. تحلیل‌های آماری نشان داد اختلاف فرکانس F1 این واکه در موضع تکیه‌بر و بی‌تکیه با یک‌دیگر معنادار است. هر چند، توزیع مقادیر F1 در جایگاه‌های هجایی باز و بسته تقریباً یکسان است. از سوی دیگر، توزیع مقادیر فرکانس F2 در دو موضع تکیه‌بر و بی‌تکیه تفاوت منظم و محسوسی را نشان نمی‌دهد. ولی مقادیر این فرکانس به صورت تابعی از عامل جایگاه هجایی تا حدودی متفاوت است. تمرکز بیشینهٔ فرکانس F2 در هجای باز در نواحی فرکانسی ۱۵۰۰ تا ۱۵۵۰ و در هجای بسته در نواحی فرکانسی ۱۴۰۰ تا ۱۴۵۰ هرتز است. یافته‌های

آزمون‌های آماری نشان داد اختلاف فرکانس F2 واکهٔ [ɯ] در جایگاه‌های هجایی باز و بسته معنادار است.

شکل (۸)، الگوی پراکندگی مقادیر سازه‌های F1 و F2 را برای واکهٔ [u] در هجاهای باز و بسته و در بافت‌های تکیه‌بر و بی‌تکیه نشان می‌دهد. مطابق این شکل، تمرکز بیشینه مقادیر F1 در موضع تکیه‌بر روی فرکانس های ۴۰۰ تا ۴۵۰ هرتز و در موضع بی‌تکیه روی فرکانس‌های ۳۰۰ تا ۴۰۰ هرتز است. یافته‌های آزمون‌های آماری نشان داد اختلاف فرکانس سازه‌های F1 برای این واکه در دو موضع تکیه‌بر و بی‌تکیه معنادار است در مقابل، توزیع مقادیر F2 واکهٔ [u] در دو موضع تکیه‌بر و بی‌تکیه تفاوت منظم و محسوسی را نشان نمی‌دهد. در هر دو موضع نوایی، بیشینه تمرکز مقادیر F2 در نواحی ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ هرتز است.



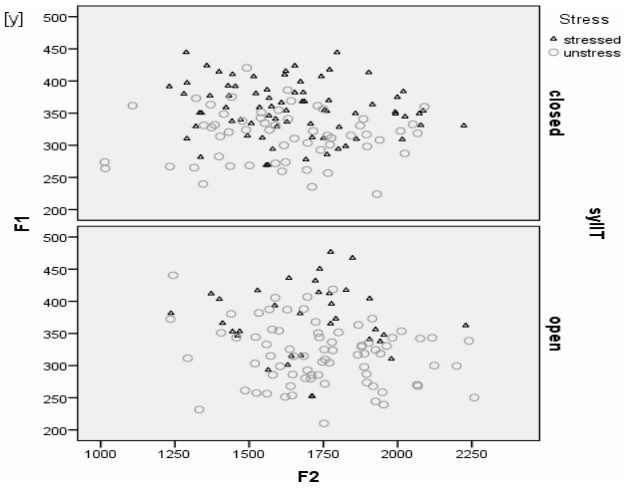
شکل۷: توزیع مقادیر فرکانس F1 و F2 برای واکهٔ [ɯ] در هجاهای باز و بسته و در بافت‌های تکیه‌بر و بی‌تکیه



شکل۸: توزیع مقادیر فرکانس F1 و F2 برای واکهٔ [u] در هجاهای باز و بسته و دربافت‌های تکیه‌بر و بی‌تکیه

یافته‌های تحلیل‌های آماری نشان داد اثر تکیه‌بر مقادیر F2 واکهٔ [u] معنادار نیست. همچنین نتایج به‌دست‌آمده، نشان داد اختلاف مقادیر هیچ یک از دو پارامتر فرکانسی F1 و F2 در جایگاه‌های هجایی باز و بسته با یک‌دیگر معنادار نیست.

شکل (۹)، توزیع مقادیر سازه‌های F1 و F2 را برای واکهٔ [y] در هجاهای باز و بسته و در بافت‌های تکیه‌بر و بی‌تکیه نشان می‌دهد. تمرکز مقادیر فرکانس F1 واکهٔ [y] در موضع بی‌تکیه در نواحی حدود ۳۰۰ هرتز و در موضع تکیه‌بر در نواحی حدود ۳۵۰ هرتز است. نتایج آزمون‌های آماری نشان داد اختلاف مقادیر فرکانس F1 این واکه در دو موضع تکیه‌بر و بی‌تکیه معنادار است اما توزیع مقادیر F2 در دو موضع تکیه‌بر و بی‌تکیه تفاوت منظم و محسوسی نشان نمی‌دهد ($F(1,237)=0.043$; $p=0.836$). از سوی دیگر، در حالی که الگوی پراکندگی مقادیر F1 در هجاهای باز و بسته شبیه به یک‌دیگر است مقادیر فرکانس دوم (F2) تغییرات منظمی را به صورت تابعی از عامل جایگاه هجایی واکه نشان می‌دهند.



شکل۹: توزیع مقادیر فرکانس F1 و F2 برای واکهٔ [y] در هجاهای باز و بسته و در بافت‌های تکیه‌بر و بی‌تکیه

تمرکز بیشینهٔ فرکانس F2 در هجای باز بر روی ناحیهٔ فرکانسی ۱۷۰۰ هرتز و در هجای بسته بر روی نواحی فرکانسی ۱۶۰۰ تا۱۶۵۰ هرتز است. نتایج آزمون‌های آماری نشان داد اختلاف مقادیر فرکانس F2 واکهٔ [y] در هجاهای باز و بسته با یک‌دیگر معنادار است.

به طور کلی، یافته‌های آماری نشان داد جایگاه هجا اثری بر الگوی توزیع واکه‌های آذری در فضای واکه‌ای ندارد. همچنین، بافت نوایی، و به‌طور مشخص، تکیهٔ واژگانی توزیع واکه‌ها را در فضای واکه‌ای برحسب هیچ یک از پارامترهای فرکانسی F1 (بعد عمودی) و F2 (بعد افقی) به‌طور معنادار و نظام‌مند تغییر نمی‌دهد. اگر چه F1 در واکه‌های [e]، [o]، [ɯ]، [i]، [u] و [y] در دو موضع تکیه‌بر و بی‌تکیه با یک‌دیگر اختلاف معنادار دارد ولی این اختلاف معنادار در مورد واکه‌های دیگر، یعنی [æ]، [ɑ] و [ø]، مشاهده نمی‌شود. اختلاف مقادیر F2 نیز بین این دو موضع بسیار اندک است و برای اغلب واکه‌ها به‌غیر از [ɑ] معنادار نیست.

جدول۱: خلاصهٔ نتایج آزمون‌های تحلیل آنووا در محاسبهٔ سطح معناداری اثر عوامل تکیهٔ واژگانی، جایگاه هجا و اثر تعاملی عوامل تکیهٔ واژگانی و جایگاه هجا بر مقادیر فرکانس F1 در واکه‌های هدف

واکه	تکیهٔ واژگانی	جایگاه هجا	تکیهٔ واژگانی × جایگاه هجا
[æ]	F(1,380)=0.930; p=0.335	F(1,380)=3.809; P=0.052	F(1,380)=0.532; P=0.466
[ɑ]	F(1,490)=1.198; p=0.274	F(1,490)=1.423; P=0.233	F(1,490)=0.186; P=0.666
[e]	F(1,148)=12.719; p=0.00	F(1,148)=6.465; P=0.012	F(1,148)=0.025; P=0.876
[o]	F(1,259)=8.642; p=0.004	F(1,259)=0.424; P=0.516	F(1,259)=0.103; P=0.748
[ø]	F(1,173)=3.787; p=0.053	F(1,173)=0.910; P=0.341	F(1,173)=0.323; P=0.571
[i]	F(1,272)=51.653; p=0.000	F(1,272)=1.129; P=0.289	F(1,272)=3.797; P=0.052
[ɯ]	F(1,243)=26.155; p=0.000	F(1,243)=4.631; P=0.032	F(1,243)=0.950; P=0.331
[u]	F(1,265)=21.194; p=0.000	F(1,265)=1.371; P=0.243	F(1,265)=0.159; P=0.697
[y]	F(1,273)=59.966; p=0.000	F(1,273)=1.936; P=0.165	F(1,273)=1.039; P=0.309

جدول۲: خلاصهٔ نتایج آزمون‌های تحلیل آنووا در محاسبهٔ سطح معناداری اثر عوامل تکیهٔ واژگانی، جایگاه هجا و اثر تعاملی عوامل تکیهٔ واژگانی و جایگاه هجا بر مقادیر فرکانس F2 در واکه‌های هدف

واکه	تکیهٔ واژگانی	جایگاه هجا	تکیهٔ واژگانی × جایگاه هجا
[æ]	F(1,380)=0.205; p=0.651	F(1,380)=0.377; P=0.540	F(1,380)=0.063; P=0.801
[ɑ]	F(1,490)=15.719; p=0.00	F(1,490)=3.860; P=0.050	F(1,490)=0.978; P=0.323
[e]	F(1,148)=0.097; p=0.756	F(1,148)=1.570; P=0.212	F(1,148)=0.095; P=0.759
[o]	F(1,259)=0.449; p=0.503	F(1,259)=0.020; P=0.888	F(1,259)=4.596; P=0.033
[ø]	F(1,173)=0.001; p=0.970	F(1,173)=0.241; P=0.624	F(1,173)=0.762; P=0.384
[i]	F(1,272)=0.125; p=0.724	F(1,272)=0.134; P=0.715	F(1,272)=0.535; P=0.465
[ɯ]	F(1,243)=1.358; p=0.245	F(1,243)=8.557; P=0.004	F(1,243)=0.833; P=0.362
[u]	F(1,265)=1.808; p=0.180	F(1,265)=0.709; P=0.401	F(1,265)=0.029; P=0.864
[y]	F(1,237)=0.043; p=0.836	F(1,237)=9.417; P=0.002	F(1,237)=1.775; P=0.184

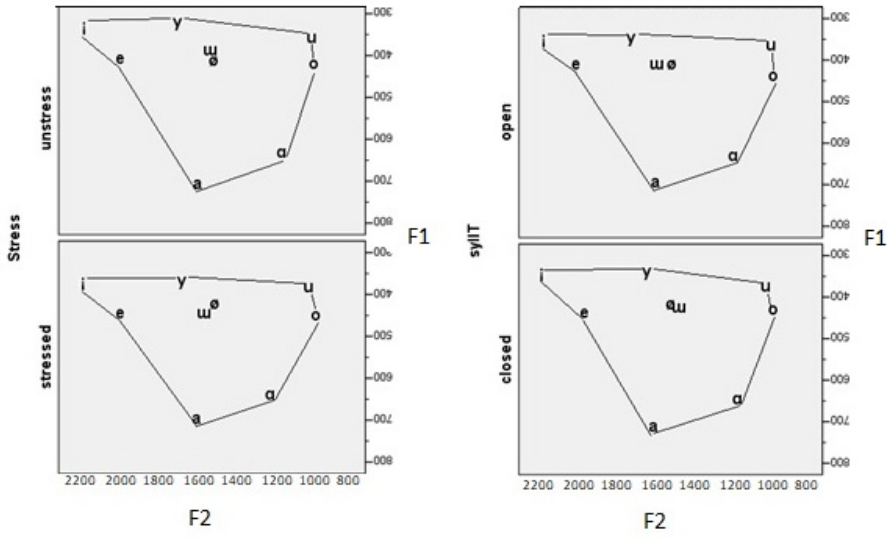
۵. فضای واکه‌ای

پس از محاسبهٔ متوسط مقادیر فرکانس سازه‌های اول و دوم و نمایش آن‌ها بر روی محورهای عمودی (F1) و افقی (F2) با اتصال نقاطی که از تلاقی نقاط متوسط مقادیر فرکانس‌های هر واکه بدست آمد، نمودار واکه‌ای رسم شد. به ازای هر واکه دو نمودار واکه‌ای برای هجاهای باز و بسته و دو نمودار واکه‌ای برای بافت‌های نوایی تکیه‌بر و بی‌تکیه ترسیم شد. شکل (۱۰)، فضای واکه‌ایِ ترکی آذری را در دو موضع تکیه‌بر و بی‌تکیه (چپ) و دو جایگاه هجایی باز و بسته (راست) نشان می‌دهد. در هر دو شکل، F1 در بُعد عمودی فضای واکه‌ای به سه ناحیهٔ آوایی قابل تفکیک است. واکه‌های [i]، [u]، [y] با مقادیر حداقلی فرکانس F1 به صورت [+افراشته] تولید شده‌اند؛ واکه‌های [æ] و [ɑ] با مقادیر حداکثری فرکانس F1 به صورت [+افتاده] تولید شده‌اند و واکه‌های [e]، [ɯ]، [ø]، [o] با مقادیر متوسط F1 به صورت [–افراشته] و [–افتاده] تولید شده‌اند؛ البته در هر طبقه بین واکه‌ها برحسب پارامتر F1 تفاوت‌های آوایی مدرج وجود دارد؛ مثلاً در بین واکه‌های افراشته مقدار افراشتگی [y] از [i] و [i] از [u] تا حدی بیشتر است. در بین واکه‌های اُفتاده، مقدار اُفتادگی [æ] از [ɑ] بیشتر است؛ یعنی میزان پائین‌بودن بدنهٔ زبان در واکهٔ افتادهٔ پیشین بیشتر از واکهٔ افتادهٔ پسین است.

از سوی دیگر، فضای واکه‌ای زبان ترکی در هر دو موضع تکیه‌بر و بی‌تکیه و هر دو جایگاه هجای باز و بسته برحسب فرکانس F1 یک فضای نامتقارن است به این معنی که فاصلهٔ فرکانسی (از نظر فرکانس F1) واکه‌ها در بخش پیشین و پسین فضای واکه‌ای به یک اندازه نیست: اختلاف فرکانس F1 واکه‌ها در بخش پیشین نسبت به بخش پسین بیشتر است. به طور مشخص، اختلاف فرکانس F1 واکه‌های نیمه‌افراشته و افتاده در بخش پیشین نسبت به واکه‌های نیمه‌افراشته و افتاده به طور چشمگیری بیشتر است. این مسئله باعث فشردگی بیشتر واکه‌ها در بخش پسین نسبت به بخش پیشین در بُعد عمودی فضای واکه‌ای (سطح ارتفاع بدنهٔ زبان) شده است. نکتهٔ بسیار مهم دیگر در رابطه با توزیع واکه‌ها در بُعد عمودی فضای واکه‌ای این است که فاصلهٔ واکه‌های سه ناحیهٔ آوایی افراشته، نیمه‌افراشته و افتاده نسبت به یک‌دیگر در هر دو بخش پیشین و پسین به یک اندازه نیست: چهار واکهٔ نیمه‌افراشته [e]، [ɯ]، [ø]، [o] به واکه‌های افراشته [i]، [u]، [y] نسبت به واکه‌های افتاده [æ] و [ɑ] بسیار نزدیکترند.[۱]

---

[۱] این مسئله دو دلیل دارد: نخست آنکه اگر فرض کنیم بازهٔ فرکانسی F1 برای تولید واکه‌های افراشته بین ۲۰۰ تا ۳۵۰ هرتز باشد (Stevens, 1998)، واکه‌های افراشته [i]، [u]، [y] در ترکی آذری متوسطی نزدیک به بیشینهٔ این بازهٔ فرکانسی دارند؛ یعنی این واکه‌ها از جنبهٔ صوتی کاملاً افراشته نیستند و از سطح ارتفاع بیشینهٔ بدنهٔ زبان فاصلهٔ نسبی دارند. دوم اینکه، اگر فرض کنیم بازهٔ فرکانسی F1 برای تولید واکه‌های نیمه‌افراشته بین ۴۰۰ تا ۶۰۰ هرتز باشد



شکل ۱۰: فضای واکه‌ای ترکی آذری به صورت تابعی از مقادیر فرکانس F1 و F2 در دو موضع تکیه‌بر و بی‌تکیه (چپ) در دو جایگاه هجای باز و بسته (راست)

آن‌چه از بررسی مقادیر فرکانس F2 بدست می‌آید این است که مقادیر F2 برای واکه‌های پیشین (i، e، æ، y) بیشتر از واکه‌های مرکزی (ɯ، ø) و نیز مقادیر فرکانس F2 برای واکه‌های مرکزی بیشتر از واکه‌های پسین (o، u، ɑ) است. در ناحیهٔ پیشین فضای واکه‌ای با کاهش سطح ارتفاع بدنهٔ زبان از میزان پیشین‌بودن واکه‌ها تا اندازه‌ای کاسته شده‌است.[۱] در ناحیهٔ پسین نیز با کاهش سطح ارتفاع بدنهٔ زبان، واکهٔ [ɑ] نسبت به دو واکهٔ [o] و [u] مرکزی‌تر تولید شده است.[۲]

(Stevens, 1998)، به گونه‌ای که سر ابتدایی این پیوستار متناظر با وضعیت نیمه‌افراشتگی و سر انتهایی آن متناظر با وضعیت نیمه‌افتادگی باشد، واکه‌های [e]، [ɯ]، [ø]، [o] در آذری متوسطی نزدیک به کمینهٔ این بازهٔ فرکانسی یا سر ابتدایی این پیوستار دارند. به این معنا که این واکه‌ها از جنبهٔ صوتی نیمه‌افراشته‌اند و نه نیمه‌افتاده. بر این اساس، توزیع واکه‌های افراشته در نقاطی نزدیک به حداقل سطح ارتفاع بدنهٔ زبان برای تولید این واکه‌ها و توزیع واکه‌های نیمه‌افراشته در نقاطی نزدیک به ارتفاع بیشینهٔ بدنهٔ زبان برای این دسته از واکه‌ها در عمل سبب نزدیکی چشمگیر واکه‌های [e]، [ɯ]، [ø]، [o] به واکه‌های افراشته [i]، [u]، [y] و دوری آن‌ها از واکه‌های افتاده [æ] و [ɑ] شده‌است.

[۱] به طور مشخص، در حالی که واکهٔ [i] در ناحیهٔ پیشینِ فضای واکه‌ای قرار گرفته‌است، واکهٔ [e] و [æ] تا اندازه‌ای از ناحیهٔ پیشین فاصله گرفته و به سمت نواحی مرکزی‌تر فضای واکه‌ای متمایل شده‌اند. در این میان، میزان مرکزی‌شدگی واکهٔ [æ] از [e] به مراتب بیشتر است. این واکه به طور مشخص با کاهش بیشتر سطح ارتفاع بدنهٔ زبان (نسبت به [e]) تا اندازهٔ زیادی به سمت عقب دهان کشیده شده، به گونه‌ای که با واکه‌های افراشته و نیمه‌افراشته مرکزی [y، ɯ و ø] در یک راستا قرار گرفته‌است. همچنین، در بین واکه‌های نیمه‌افراشته، واکه‌های [ɯ] و [ø] مرکزی‌تر از [o] و [e] هستند.

[۲] هر چند واکهٔ [o] با وجود ارتفاع کمتر نسبت واکهٔ افراشتهٔ [u]، اندکی پسین‌تر از این واکه تولید شده‌است. این واقعیت نشان می‌دهد توزیع واکه‌ها در دو ناحیهٔ پیشین و پسین فضای واکه‌ای برحسب پارامتر F2 متقارن نیست.

براین اساس، با توجه به الگوی توزیع واکه‌ها بر حسب فرکانس دوم می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که به لحاظ معیارهای صوتی، دو واکهٔ [i] و [e] پیشین، واکه‌های [o] و [u] پسین و واکه‌های [æ] و [ɑ] مرکزی‌اند. هر چند میزان مرکزی‌بودن [æ] از [ɑ] بیشتر است.[1]

بحث دیگر مربوط به واکه‌های [y]، [ɯ]، [ø] است. این سه واکه به‌طور مشخص در تمامی بافت‌های نوایی و جایگاه‌های هجایی در نواحی مرکزی با سطح ارتفاعی افراشته ([y]) یا نیمه‌افراشته ([ɯ]، [ø]) تولید شده‌اند. بنابراین، [y] و [ø] در ترکی آذری برخلاف [y] و [ø] در نمودار واکه‌های اصلی ثانویه، پیشین نیستند. همین‌طور [ɯ] برخلاف [ɯ] در نمودار مذکور، یک واکهٔ پسین نیست. نکتهٔ مهم آن است که [ɯ] و [ø] بر حسب هر دو پارامتر فرکانسی F1 و F2 در نواحی بسیار نزدیک به یک‌دیگر ظاهر شده‌اند. از سویی، اگر چه مقادیر فرکانس دوم، جفت واکه‌های [i]–[y] و [e]–[ø] را از هم متمایز می‌کند، ولی برای تعیین کیفیت دقیق این واکه‌ها، لازم است مقادیر F3 و همین‌طور F3-F2 جفت واکه‌ها با هم مقایسه شود. مقادیر این دو پارامتر در تعیین مشخصهٔ گردی واکه‌ها تاثیرگذار است. مقدار F3 با شکل لب‌ها و گردشدگی آن‌ها در ارتباط است. هر چه واکه گردتر باشد، F3 کمتر و هر چه واکه گسترده‌تر باشد F3 بیشتر می‌شود (Bijankhan, 2013).

جدول۳: خلاصهٔ نتایج آزمون‌های تحلیل آنووا در محاسبهٔ سطح معناداری اثر عوامل تکیهٔ واژگانی، جایگاه هجا و اثر تعاملی عوامل تکیهٔ واژگانی و جایگاه هجا بر مقادیر فرکانس F3 در واکه‌های هدف

واکه	تکیهٔ واژگانی	جایگاه هجا	تکیهٔ واژگانی × جایگاه هجا
[e]	F(1,148)=1.397; p=0.239	F(1,148)=1.566; P=0.213	F(1,148)=0.792; P=0.375
[ø]	F(1,173)=0.176; p=0.675	F(1,173)=1.153; P=0.284	F(1,173)=0.974; P=0.325
[i]	F(1,272)=1.281; p=0.259	F(1,272)=0.567; P=0.452	F(1,272)=0.266; P=0.606
[ɯ]	F(1,243)=0.243; p=0.623	F(1,220)=0.289; P=0.591	F(1,220)=0.059; P=0.808
[y]	F(1,273)=0.113; p=0.737	F(1,273)=0.592; P=0.443	F(1,273)=0.187; P=0.666

[1] در پیوند با تأثیر تکیه بر فضای واکه‌ای باید اشاره کرد که شدت تغییرات فرکانسی واکه‌ها در موضع بی‌تکیه به گونه‌ای نیست که باعث تفاوت معنادار کیفیت واکه شود. ضمن آنکه این تغییرات به سمت مرکز فضای واکه‌ای اتفاق نیفتاده‌است. افزون بر این، تفاوت منظم و منسجمی در داده‌های آوایی این پژوهش بین واکه‌های کوتاه و بلند از نظر الگوی توزیع ترکیبی فرکانس‌های F1×F2 قابل مشاهده نیست.

جدول٤: خلاصهٔ نتایج آزمون‌های تحلیل آنووا در محاسبهٔ سطح معناداری اثر عوامل تکیهٔ واژگانی، جایگاه هجا و اثر تعاملی عوامل تکیهٔ واژگانی و جایگاه هجا بر مقادیر فرکانس F3–F2 در واکه‌های هدف

واکه	تکیهٔ واژگانی	جایگاه هجا	تکیهٔ واژگانی × جایگاه هجا
[e]	F(1,148)= 2.503; p=0.116	F(1,148)=0.381; P=0.538	F(1,148)=0.687; P=0.409
[ø]	F(1,173)=0.507; p=0.477	F(1,173)=1.405; P=0.238	F(1,173)=1.972; P=0.162
[i]	F(1,272)=2.045; p=0.159	F(1,272)=3.114; P=0.079	F(1,272)=0.012; P=0.914
[ɯ]	F(1,243)=0.473; p=0.492	F(1,220)=3.306; P=0.070	F(1,220)=0.512; P=0.475
[y]	F(1,273)=0.034; p=0.854	F(1,273)=3.546; P=0.061	F(1,273)=0.504; P=0.478

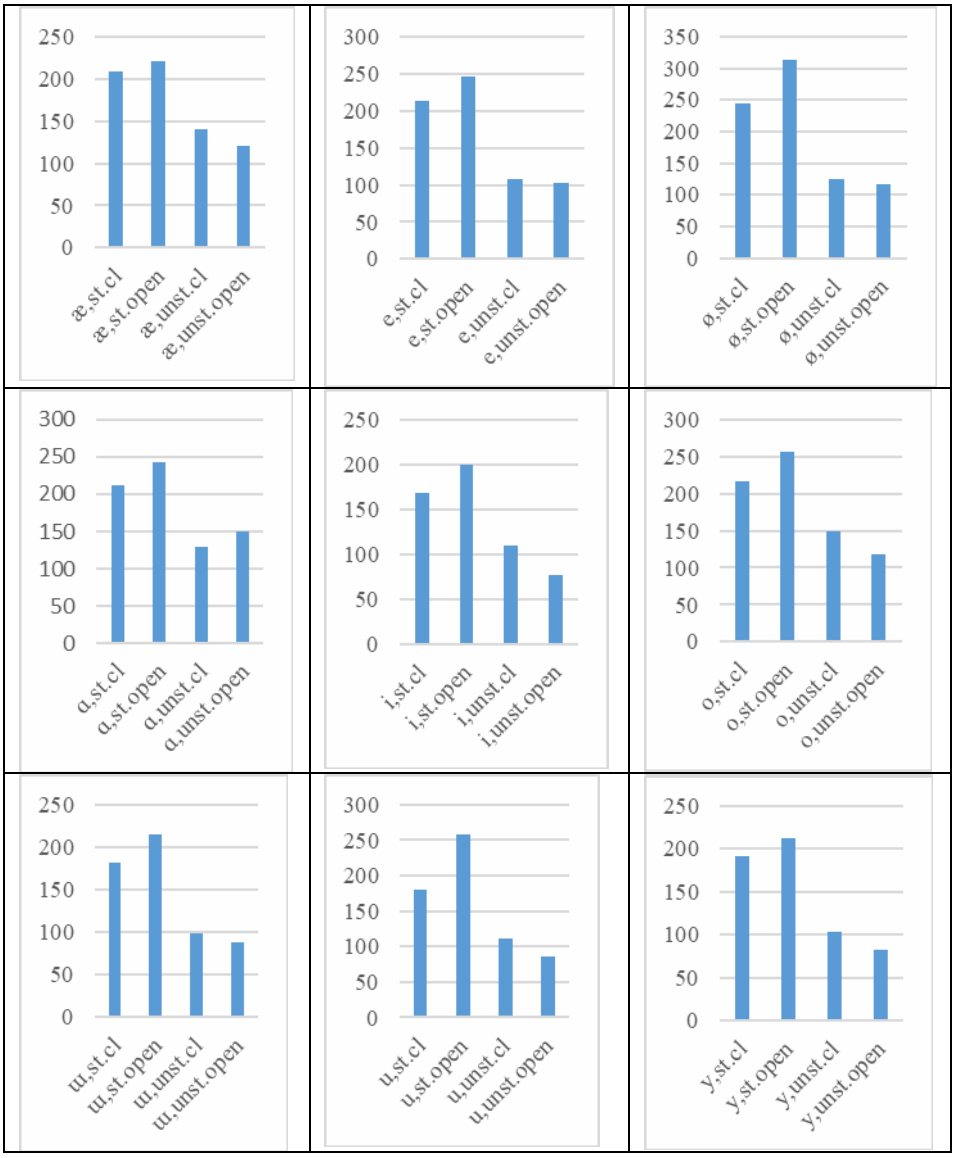
مقایسه‌های آماری انجام‌شده (جدول‌های (۳) و (۴)) نشان داد فرکانس سازهٔ سوم واکهٔ [e] در جفت واکه‌های [e]–[ø] در تمامی بافت‌های نوایی و جایگاه‌های هجایی از واکهٔ [ø] به طور معناداری بیشتر است. همچنین، اختلاف فرکانس سازهٔ سوم و دوم دو واکهٔ [e] و [ø] در تمامی حالات به غیر از بافت تکیه‌بر در جایگاه هجایی باز با یک‌دیگر معنادار است. این یافته‌ها همچنین نشان داد فرکانس سازهٔ سوم و F3– F2 واکهٔ [i] در جفت واکه‌های [i]–[y] در تمامی بافت‌های نوایی و جایگاه‌های هجایی از واکهٔ [y] به طور معناداری بیشتر است. همچنین نتایج به‌دست‌آمده برای جفت واکه‌های [ɯ]–[ø] نشان داد میانگین مقادیر فرکانس سوم این واکه‌ها در هیچ یک از بافت‌های نوایی و جایگاه‌های هجایی با یک‌دیگر اختلاف معنادار ندارند ولی اختلاف مقادیر F2–F3 این جفت واکه‌ها در تمامی بافت‌های نوایی و جایگاه‌های هجایی با یک‌دیگر معنادار است.

این یافته‌ها به طور مشخص گویای این واقعیت اساسی است که هر یک از این جفت واکه‌ها شامل یک واکهٔ غیرگرد ([i]، [e] و [ɯ]) و یک واکهٔ گرد ([y]، [ø] و [ø]) است. بنابراین، جفت واکه‌های [i]–[y] و [e]–[ø] در ترکی آذری نه تنها از طریق مقادیر فرکانس دوم، بلکه از طریق فرکانس‌های F3 و F3–F2 نیز از هم متمایز می‌شوند. همچنین، گرچه مقادیر فرکانس‌های اول و دوم جفت واکه‌های [ɯ]–[ø] قادر به متمایزساختن این واکه‌ها از یک‌دیگر نیست، ولی مقادیر اختلاف فرکانس سازهٔ سوم و دوم، F3–F2، به خوبی این واکه‌ها را از یک‌دیگر متمایز می‌کند.

۷. دیرش واکه

شکل (۱۱)، میانگین دیرش واکه‌ها را به صورت تابعی از جایگاه هجایی و بافت نوایی نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که مقادیر دیرش هر واکه، از ابتدای همساز قوی در ناحیهٔ فرکانسی

سازهٔ F2 تا پایانِ همساز قوی در همین ناحیهٔ فرکانسی اندازه‌گیری شد.



شکل ۱۱: میانگین دیرش ۹ واکهٔ آذری در چهار وضعیت هجای بسته و تکیه‌بر[1]، هجای باز و تکیه‌بر[2]، هجای بسته و بی‌تکیه[3]، هجای باز و بی‌تکیه[4]

---

[1] st.cl
[2] st.open
[3] unst.cl
[4] unst.open

بر اساس شکل (۱۱)، می‌توان به یافته‌های زیر دست یافت:

یکم- میانگین مقادیر دیرش واکه‌ها در هجاهای تکیه‌بر بیش از هجاهای بی‌تکیه است. دیرش واکه‌های تکیه‌بر تقریباً دو برابر واکه‌های بی‌تکیه است.

دوم- در موضع تکیه‌بر، میانگین مقادیر دیرش واکه‌ها در هجای باز از بسته بیشتر است.

سوم- در موضع بی‌تکیه میانگین مقادیر دیرش واکه‌ها در هجای بسته بیشتر از هجای باز است. بر این اساس، دیرش هجاهای باز و بسته با یک‌دیگر تفاوت نظام‌مند ندارند که این امر می‌تواند ناشی از تأثیر متفاوت تکیه، بر دیرش هجاهای باز و بسته باشد.

آزمون تحلیل آنووای چندعامله برای تمامی واکه‌های آذری به منظور محاسبهٔ معناداری اثر عوامل تکیهٔ واژگانی، جایگاه هجا و نوع واکه (به عنوان عوامل مستقل) بر مقادیر دیرش (عوامل وابسته) انجام شد. نتایج در جدول (۵) ارائه شده‌است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که اختلاف میانگین دیرش در بین گروه‌ها به لحاظ آماری معنادار است. یعنی مقادیر دیرش واکه‌ها در جایگاه هجای باز و بسته و دو موضع نوایی تکیه‌بر و بی‌تکیه با یک‌دیگر به طور معناداری متفاوت است.

جدول ۵: خلاصهٔ نتایج آزمون‌های تحلیل آنووا برای محاسبهٔ سطح معناداری اثر عوامل تکیهٔ واژگانی، جایگاه هجا، نوع واکه و اثر تعاملی عوامل تکیهٔ واژگانی و جایگاه هجا و نوع واکه بر مقادیر دیرش ۹ واکه

دیرش	متغیر مستقل
$F(8,2528) = 25.378;\ p<0.001$	نوع واکه
$F(1,2528) = 1538.45;\ p<0.001$	تکیهٔ واژگانی
$F(1,2528) = 19.447;\ p<0.001$	جایگاه هجا
$F(8,2528) = 6.942;\ p<0.001$	تکیهٔ واژگانی× نوع واکه
$F(8,2528) = 2.863;\ p<0.001$	جایگاه هجا× نوع واکه
$F(1,2528) = 91.697;\ p<0.001$	تکیهٔ واژگانی × جایگاه هجا
$F(8,2528) = 3.513;\ p<0.001$	نوع واکه ×تکیهٔ واژگانی × جایگاه هجا

برای به‌دست‌آوردن تفاوت معناداری دیرش واکه‌ها از آزمون‌های تعقیبی توکی استفاده شد. یافته‌های به‌دست‌آمده نشان داد: ۱) اختلاف میانگین مقادیر دیرش واکهٔ [æ] با همهٔ واکه‌ها به غیر از [ɑ] و[ø] معنادار است؛ ۲) اختلاف میانگین مقادیر دیرش واکهٔ [ɑ] با همهٔ واکه‌ها به غیر از [æ] و[ø] معنادار است؛ ۳) در رابطه با واکهٔ [ø]، اختلاف میانگین دیرش جفت واکه‌های [ɑ، e]، [æ، e] ($p<0.001$)، و [ø ، e] ($p=0.032$)، [y، e] ($p=0.013$) معنادار است، اما اختلاف میانگین

دیـرش جفـت واکـه‌هـای [e ،i] (p=0.057)، [e ،ɯ] (p=1.000)، [e ،o] (p=0.998)، [e ،u] (p=0.987) معنادار نیست؛ ۴) برای واکهٔ [i] اختلاف میانگین دیرش جفت واکه‌های [æ ،i]، [ɑ ،i]، [i ،o]، [ø ،i] در سطح کوچکتر از (p<0.001)، معنادار است. در حالی کـه اخـتلاف میـانگین دیـرش جفـت واکـه‌هـای [e ،i] (p=0=057)، [ɯ ،i] (p=0.080)، [u ،i] (p=0.342)، [y ،i] (p=0.999) معنادار نیست. ۵) برای واکهٔ [ɯ]، اختلاف میانگین دیرش جفت واکه‌های [ɯ ،ɑ]، [ɯ ،æ] در سطح کـوچکتر از (p<0.001)، همچنـین [ɯ ،y] (p=0.017)، [ɯ ،ø] (p=0.003)، [ɯ ،i] (p=1.000)، [ɯ ،e] معنادار است. این در حالی است که اختلاف میانگین جفت واکه‌های [ɯ ،o] (p=0.080)، [ɯ ،u] (p=0.940)، [ɯ ،ɯ] (p=0.999) معنـادار نیـست. ۶) در مـورد واکـهٔ [o]، اختلاف میانگین مقادیر دیرش جفت واکه‌های [æ ،o]، [ɑ ،o]، [i ،o]، [y ،o] در سـطح کـوچکتر از (p<0.001)، معنـادار اسـت. ایـن در حـالی اسـت کـه اخـتلاف میـانگین مقـادیر دیـرش جفـت واکـــه‌هـــای [e ،o] (p=0.998)، [ɯ ،o] (p=0.940)، [ø ،o] (p=0.124)، [u ،o] (p=0.568) معنادار نیست؛ ۷) برای [ø]، اختلاف میانگین مقادیر دیرش جفت واکه‌های [i ،ø]، [u ،ø]، [y ،ø] (p<0.001)، و [ɯ ،ø]، [e ،ø] (p=0.003)، معنـادار اسـت. ایـن در حـالی اسـت کـه اخـتلاف میانگین دیـرش جفـت واکـه‌هـای [æ ،ø] (p=0.960)، [ɑ ،ø] (p=0.584)، [o ،ø] (p=0.124) معنادار نیست؛ ۸) در رابطه با [u]، اختلاف میانگین مقادیر دیرش جفت واکه‌هـای [æ ،u]، [ɑ ،u]، [ø ،u] (p<0.001) معنادار است. در حالی که اختلاف میانگین دیرش مقادیر جفت واکه‌هـای [e ،u] (p=0.987)، [i ،u] (p=0.342)، [y ،u] (p=0.104)، [ɯ ،u] (p=0.999)، [o ،u] (p=0.568) معنادار نیست؛ ۹) برای [y] اختلاف میانگین مقادیر دیرش جفـت واکـه‌هـای [æ ،y]، [ɑ ،y]، [ø ،y]، [o ،y] (p<0.001) و [e ،y] (p=0.013)، [ɯ ،y] (p=0.017) معنادار اسـت. در حالی که اختلاف میانگین مقادیر دیرش جفت واکه‌های [i ،y] (p=0.999)، [u ،y] (p=0.104)، معنادار نیست.

بر این اساس، واکه‌های ترکی آذری بر مبنای میـانگین مقـادیر دیـرش، بـه پـنج گـروه همگـن تقسیم می‌شوند، گروه اول، شامل واکه‌های [u، i ،y]، گروه دوم شامل واکه‌های [ɯ ،u ،i]، گروه سوم شامل واکه‌های [u، ɯ، e، o]، گروه چهـارم شـامل واکـه‌هـای [o، ø]، و گـروه پـنجم شـامل واکه‌های [ø، æ، ɑ]. دسته‌بندی این گروه‌ها به این معنی است که واکه‌های هرگروه بـا یـک‌دیگـر از نظر میانگین مقادیر دیرش تفاوتی ندارند، اما واکه‌های یک گروه از نظـر دیـرش بـا گـروه‌هـای دیگر تفاوت معنادار دارند. میانگین دیرش واکه‌ها برای گـروه اول، کمتـرین و بـرای گـروه پـنجم بیشترین میزان است. یعنی هر قدر از واکه‌های گروه اول به واکه‌های گروه پنجم حرکت می‌کنیم،

میزان دیرش واکه‌ها بیشتر می‌شود. بر این اساس، واکه‌های افراشته، مقادیر دیرش حداقلی و واکه‌های افتاده، مقادیر دیرش حداکثری دارند و واکه‌های نیمه‌افراشته ما بین این دو دسته قرار می‌گیرند.

۸. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با استخراج مقادیر فرکانس‌های اول و دوم هر یک از واکه‌های ترکی، نمودار فضای واکه‌ای واکه‌های این زبان را به دست آوردیم. محاسبه و تحلیل آماری اثر عوامل تکیه واژگانی (با دو سطح تکیه‌بر و بی‌تکیه) و جایگاه هجا (با دو سطح هجای باز و هجای بسته) به عنوان متغیرهای مستقل بر مقادیر فرکانس سازه‌های اول و دوم واکه‌های هدف نشان داد جایگاه هجا اثری بر الگوی توزیع واکه‌های آذری در فضای واکه‌ای ندارد. همچنین، بافت نوایی، و به طور مشخص، تکیهٔ واژگانی توزیع واکه‌ها را در فضای واکه‌ای برحسب هیچ یک از پارامترهای فرکانسی F1 (بعد عمودی) و F2 (بعد افقی) به طور معنادار و نظام‌مند تغییر نمی‌دهد. این یافته‌ها همچنین نشان داد شدت تغییرات فرکانسی واکه‌ها در موضع بی‌تکیه به اندازه‌ای نیست که باعث تفاوت معنادار کیفیت واکه شود، ضمن آن که این تغییرات به سمت مرکز فضای واکه‌ای اتفاق نمی‌اُفتد. دیگر آن که تفاوت منظم و منسجمی بین واکه‌های کوتاه و بلند از نظر الگوی توزیع ترکیبی فرکانس‌های F1×F2 وجود ندارد. همچنین، یافته‌های این پژوهش نشان داد اختلاف مقادیر پارامتر فرکانسی F3 و یا F3-F2 در جفت‌واکه‌های [i]-[y]، [e]-[ø] و [ɯ]-[ø] با یک‌دیگر معنادار است و بین واکه‌ها در هر جفت‌واکه، یک تقابل صوت‌شناختی از نظر ویژگی گردی برقرار است. نتایج مربوط به دیرش نیز نشان داد واکه‌های ترکی را از نظر الگوی دیرش می‌توان بر روی پیوستاری قرار داد که یک سر آن واکه‌های [u، i، y] به عنوان واکه‌های کوتاه و سر دیگر آن واکه‌های [ɑ، æ، ø] به عنوان واکه‌های بلند قرار دارند و گروه‌های واکه‌ای [i، u، ɯ]، [u، ɯ، e، o] و [ø، o] با دیرش متوسط به ترتیب از درجات کم تا زیاد در وسط پیوستار قرار دارند. این نتایج همچنین نشان داد تکیه باعث افزایش دیرش واکه‌ها می‌شود ولی رابطهٔ نظام‌مندی بین الگوی دیرش واکه‌ها و جایگاه هجایی (باز و بسته) وجود ندارد. زیرا در حالی که در موضع تکیه‌بر، میانگین مقادیر دیرش واکه‌ها در هجای باز از هجای بسته بیشتر است، در موضع بی‌تکیه، بر عکس، دیرش واکه‌ها در هجای باز از هجای بسته کمتر است.

فهرست منابع

آرام، یوسف (۱۳۸۸). *اشتقاق در زبان ترکی آذربایجان*. رسالهٔ دکتری. دانشگاه علامه طباطبایی.

اسفندیاری، نسیم و بتول علی‌نژاد (۱۳۹۴). «بهنجارسازی فضای واکه‌ای زبان فارسی. *پژوهش‌های زبان‌شناسی*». سال ۷. شمارهٔ ۲. شماره ترتیبی ۱۳. صص ۳۵-۱۱.

بی‌جن‌خان، محمود (۱۳۹۲). *نظام آوایی زبان فارسی*. تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه (سمت).

بی‌جن‌خان، محمود (۱۳۶۹). *تجزیه و تحلیل صوتی واکه‌های ساده و مرکب زبان فارسی براساس نظریهٔ فانت*. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.

بی‌جن‌خان، محمود (۱۳۷۴) *بازنمایی واجی و آوایی زبان فارسی و کاربرد آن در واج‌شناسی خودکار گفتار*. رسالهٔ دکتری. دانشگاه تهران.

بیگدلی، ندا و وحید صادقی(۱۳۹۹). شواهد درکی برای انطباق واجی واکه‌های انگلیسی با نظام واکه ای فارسی. *زبان‌پژوهی*. سال ۱۲. شماره ۳۴. صص ۲۹۵-۲۷۳.

صادقی، وحید و نیلوفر منصوری هره‌دشت (۱۳۹۴). کیفیت واکه در زبان فارسی: مقوله‌ای پایدار یا تغییرپذیر؟: یک مطالعه موردی بر روی گویشوران مرد. *پژوهش‌های زبانی*. سال ۶. شماره ۲. صص ۸۰-۶۱.

صادقی، وحید (۱۳۹۲). «بررسی آوایی تکیهٔ واژگانی در زبان فارسی». *زبان‌پژوهی*. دورهٔ ۵. شمارهٔ ۹. صص ۱۲۴-۹۷.

صادقی، وحید (۱۳۹۴). «بررسی آوایی کاهش واکه‌ای در زبان فارسی». *جستارهای زبانی*. دورهٔ ۶. شمارهٔ ۳. صص ۱۶۵-۱۸۷.

مدرسی‌قوامی، گلناز (۱۳۸۹). نگاهی دیگر به واکهٔ مرکب در زبان فارسی: ملاحظات آوایی، تاریخی و صرفی. *مجموعه مقالات نخستین کارگاه آموزشی و پژوهشی صرف*. به کوشش ویدا شقاقی. تهران: انجمن زبان‌شناسی ایران. صص ۷۱-۴۹.

مدرسی‌قوامی، گلناز (۱۳۹۰). *آواشناسی: بررسی علمی گفتار*. تهران: سمت.

مدرسی‌قوامی، گلناز (۱۳۹۳). «تأثیر تکیهٔ واژگانی بر ویژگی‌های کیفی واکه‌های سادهٔ زبان فارسی». *علم زبان*. سال ۱. شماره ۱. صص ۵۶-۴۱.

مدرسی‌قوامی، گلناز (۱۳۹۳). «نگاهی دیگر به ویژگی‌های صوت‌شناختی واکه‌های کوتاه و بلند در زبان فارسی». *پژوهش‌های زبان‌شناسی تطبیقی*. سال ۴. شماره ۸. صص ۸-۷.

منصوری، بنفشه، سید سمانه میراحدی، فریده کامران، سید ابوالفضل توحید دوست و کوثر رشت‌باری (۱۳۹۷). «بررسی ساختار سازه‌ای واکه‌های زبان آذری در بزرگسالان آذری زبان ۱۸ تا ۲۴ ساله». *علوم پیراپزشکی و توانبخشی* مشهد. دوره ۷. شماره ۲. صص ۳۷-۳۰.

References

Aram, Y. (2009). *Derivation in the Azerbaijani Turkish* (Doctoral dissertation). Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran [In Persian].

Bijankhan, M. (1990). *An acoustic investigation of simple and complex vowels in Persian within Fant Theory* (Master thesis). Tehran University, Tehran, Iran [In Persian].

Bijankhan, M. (1995). *Phonetic and phonological representation and its application on electronic speech phonology* (Doctoral dissertation). Tehran University, Tehran, Iran [In Persian].

Bijankhan, M. (2013). *Phonetic system of the Persian language*. Tehran: SAMT [In Persian].

Bigdeli1, N. & Vahid Sadeghi. (2020). Perceptual evidence for the phonological adaptation of English vowels in Persian sound system. *Journal of Language Research*, *12* (34), 273-295 [In Persian].

Boersma P., & Weenink, D. (2019). *Praat: Doing phonetics by computer*. Version 6. 1. 08. Praat manual. Retrieved from <http://www.praat.org/.>

Crystal, D. (2010). *The Cambridge encyclopedia of language*. Cambridge and New York:
Cambridge University Press.

Esfandiari, N., & Alinezhad, B. (2016). Persian vowel space normalization. *Research in Linguistics*, *7* (2), 15 -34 [In Persian].

Ghaffarvand Mokari. P., & Werner, S. (2016). An acoustic description of spectral and temporal characteristics of Azerbaijani vowels. *Poznań Studies in Contemporary Linguistics 52*(3), 503–518.

Hagino, A., K. Inohara, Y.I. Sumita, & Taniguchi, H. (2008). Investigation of the factors influencing the outcome of prostheses on speech rehabilitation of mandibulectomy patients. *Nihon Hotetsu Shika Gakkai Zasshi*, *52*(4), 543–549.

Johanson, L. (2010). Azerbaijanian. In K. Brown and S. Ogilvie (Eds.), Concise encyclopedia of languages of the world (pp. 110–113). Amsterdam: Elsevier.

Mansuri B., Mirahadi, S. S., Kamran, F., Tohidast, S. A., & Rashtbari, K. (2018). Investigation of the formant structure of Persian vowels in the Persian Azari bilingual adults. *Speech Therapy and Rehabilitation Sciences of Mashhad*, *19* (2),142-149 [In Persian].

Modarresi Ghavami, G. (2020). Another look at compound vowels in Persian: Phonetic, historical and morphological considerations. In V. Shaghaghi (Ed.), *Proceedings of the first educational and research workshop* (pp. 49-71). Tehran: Linguistics Society of Iran [In Persian].

Modarresi Ghavami, G. (2011). *Phonetics: The scientific study of speech*. Tehran: SAMT [In Persian].

Modarresi Ghavami, G. (2014). The effect of lexical stress on Persian simple vowels' qualitative features. *Language Science*, *1*(1), 41-56 [In Persian].

Modarresi Ghavami, G. (2014). Acoustics of short and long vowels in Persian. *Journal of Comparative Linguistic Researches, 4* (8), 1-9 [In Persian].

Mozaffarzadeh Peivasti, S. (2012). An acoustic analysis of Azerbaijani vowels in Tabrizi dialect. *Journal of Basic and Applied Scientific Research 2* (7), 7181–7184.

Sadeghi, V. (2013). the Acoustical Study of Lexical Stress in Persian. *Journal of Language Research*, *5* (9), 97-124 [In Persian].

Sadeghi, V., & Mansoory Harehdasht, N. (2016). Vowel quality in Persian: Stable or unstable? *Language Research*, *6* (2), 61 -80 [In Persian].

Sadeghi, V. (2015). A phonetic study of vowel reduction in Persian. *Language Related Research*, *6* (3), 165-187 [In Persian].

Stevens, K. N. (1998) *Acoustic phonetics*. Cambridge, MA and London: MIT Press.

Wang, H., & Van Heuven, V. (2006). Acoustical analysis of English vowels produced by Chinese, Dutch and American speakers. *Linguistics in the Netherlands*, Volume 23, Issue 1, 237–248.

Xu, U. (2018). A Praat script for large-scale systematic analysis of continuous formant movements. *Revista de Estudos da Linguagem, Belo Horizonte, 26* (4), 1435-1454.