



<https://jrl.ui.ac.ir/?lang=en>

**Journal of Researches in Linguistics**

E-ISSN: 2322-3413

14(1), 1-24

Received: 21.05.2022 Accepted: 05.09.2022

**Research Paper**

## Formant Transitions of Turkish Vowels

**Vahid Sadeghi**

Associate Professor, Department of English language, Faculty of Humanities, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

vsadeghi5603@gmail.com

**Solmaz Mahmoodi**  \*

Assistant Professor, Department of Persian Language and Literature, Eastern Languages and Literature Department, Faculty of Letters, İstanbul University, İstanbul- Turkey  
solmaz.mahmoodi@istanbul.edu.tr

### Abstract

Acoustic correlates of consonantal place of articulation are numerous and varied. Burst information, onset spectra, and formant transition motion have all been implicated as the significant cues for consonant place of articulation within each labial, alveolar, and velar place category. The main purpose of this study was to investigate the transition rate of a vowel formant, which was the ascending or descending slope of the formant in CV syllables. Therefore, this analysis offered additional insights to the role of F2 transition at the onset and mid-points when serving as predictor variables. The results showed that F1 vowel transitions had an ascending slope. Increasing the value of F1 vowel transition after the releases of labial, alveolar, and velar consonants was an acoustic clue to the opening of the oral cavity and absence of obstruction/closure in the vocal tract. The statistical analyses demonstrated that only in the vowels [o, u, æ], there was a significant difference between the second formant frequencies at the two onset and the mid-points of the transition after all coronals, labials, and velars. The difference between these two variables was not significant in the other cases.

**Keywords:** Vowel, Transition, Formant, Syllable, Ascending or Descending Slope

### Introduction

Azerbaijani language is mainly spoken in Azerbaijan and Iran (Johanson, 2010). After Farsi as the official language, Azerbaijani has the most (approximately 15-20 million) speakers in Iran (Crystal, 2010). Most of the speakers inhabit in four provinces of the northwestern part of Iran. In the literature, two striking features of Turkic morphology has been presented: first, its agglutinative nature (low level of fusion in Sapir's terminology), indicating the fact that there is basically one-one correspondence between grammatical categories and their exponents and second, its highly synthetic nature (high level of synthesis again by using Sapir's terminology), demonstrating the fact that a given word can contain a large number of morphemes. Furthermore, the syllable structure of Azerbaijani language is consonant-vowel-consonant (consonant). This indicates that tautosyllabic consonant clusters with sonority drop are acceptable. In Turkic languages, the stress falls on the final syllables of all parts of speech (noun, adjectives, adverbs, and verbs). Most of the

---

\*Corresponding author



This is an open access article under the CC BY-NC-ND/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



<https://doi.org/10.22108/jrl.2022.133712.1656>

derivational and inflectional suffixes carry the stress. However, some of the derivational suffixes and clitics are unstressed. When roots combine with an unstressed suffix, the stress falls on the immediately preceding syllable and stress shift may not take place. According to these stress-placement rules, we used target vowels in simple words with the cvc.cvc syllables.

### Materials and Methods

Generally, the first 3 formants of vowels are the most important indicators providing information for distinguishing vowels from each other (Hagino et al., 2008). There is a close relation between the first formant frequency (F1) and articulatory and/or perceptual dimension(s) of vowel height. The second formant frequency (F2) corresponds with the place of maximal constriction during the production of vowels (Wang and Van Heuven, 2006). Measurement of formants is one of the elements of the acoustic analysis of vowels. The first two formants are most important for identifying a vowel (Raina, Chakraborty, and Velankar, 2014). A formant is a concentration of acoustic energy around a particular frequency in the speech wave and corresponds to a resonance in the vocal tract. Formants can be seen very clearly in a wideband spectrogram where they are displayed as dark bands. They are labeled as F1, F2, F3, F4, etc. starting with the lowest frequency (Gunasekar et al., 2017). F1 is primarily related to tongue height with high vowels having a low F1 frequency and low vowels having a high F1 frequency. F2 is mostly related to tongue advancement with back vowels having a low F2 frequency and front vowels having a high F2 frequency (Ludlow, Kent, and Gray, 2019). This study included 10 native Turkish speakers aged 20-45 years. They pronounced Turkish vowels following consonants like xur.da, na.xur, ru.za, and sa.ru. Acoustic analysis of the WAV files was performed in the computer program Praat, Version 6.1.08 (Boersma and Weenink, 2019). Segmentation of vowels in words was carried out in a manual approach. Formant frequency analysis was conducted using the Formant Pro (Xu, 2018) available in Praat with its default standard settings (range of 5,000 Hz for 5 formants). We used International Phonetic Alphabet (IPA) symbols for Turkish sounds.

### Discussion of Results and Conclusion

Coarticulation is generally defined as the influence of one phonetic segment on another segment (Marchal, 2009). It is an overlap between the articulations of neighboring phonemes. Articulators constantly move as we talk so that the shape of the vocal tract for a particular phoneme is influenced by the shapes for the phonemes that both precede and follow it (Goldstein, 2010).

Vocal tract movements produce transitions of formant frequencies. Formant transitions reflect the overall change in the shape of the vocal tract during speech production (Story and Bunton, 2010).

The study objective was to analyze F1 and F2 transitions in Turkish vowels in a consonant context with different places of articulation (labials: m, b, p, f, and v; coronals: s, z, d, t, n, and l; alveolo-palatals: ʃ, ʒ, ʤ, r, and ts; palatals: j, ç, and y; uvulars: ɣ and x. Therefore, this analysis offered additional insights into the role of F2 transition at the onset and mid-points when serving as predictor variables. Formant transitions in consonant-vowel sequences from real words were analyzed. Consonants with different places of articulation were included in the analysis. Finally, statistical analysis of T-test was performed for two similar groups by calculating the significance level of the difference between the F2 frequency values of the onset and the mid-points of the target vowels after the consonants.

The results revealed that F1 vowel transitions had an ascending slope. Increasing the value of F1 vowel transition after the releases of labial, alveolar, and velar consonants was an acoustic clue to the opening of the oral cavity and absence of obstruction/closure in the vocal tract. The statistical analyses demonstrated that only in vowels [o, u, æ], there was a significant difference between the frequencies of the second formant at the two onset and mid-points of the transition after all coronals, labials, and velars. The difference between these two variables was not significant in the other cases.

### References

- Aram, Y. (2009). *Derivation in the Azerbaijani Turkish*. PhD. Dissertation, AllamehTabataba'i University. [In Persian].
- Baken, R.J., and Orlikoff, R.F. (2000). Clinical measurement of speech and voice. 2nd ed. *San Diego: Singular Thomson Learning*, pp. 273-274.
- Bijankhan, M. (1995). *Phonetic and Phonological Representation and its application on Electronic Speech phonology*. PhD. Dissertation. Tehran University. [In Persian].
- Bijankhan, M. (2013). *Phonetic system of the Persian language*. Tehran: Samt. [In Persian].
- Boersma, P., & Weenink, D. (2010). "Praat: Doing phonetics by computer. Version 6.1. 08. Praat manual". (Vide. <http://www.fon.hum.uva.nl/praat>).
- Delattre, P.C., Liberman, A.M., & Cooper, F.S. (1955). Acoustic loci and transitional cues for consonants, *JASA*, 27, 769-773.
- GhaffarvandMokari, P., and Werner, S. (2016). An acoustic description of spectral and temporal characteristics of azerbaijani vowels. *Poznań Studies in Contemporary Linguistics* 52(3), 503-518.




- Gunasekar, C., Sabrigirinathan, C., Vinayagavel, K., and Ramkumar, K. (2017). The acoustic parameters for analyzing speech with complete dentures. *International Journal of Dental Research*, 5(2), 115-120.
- Hillenbrand, J. M., Clark, M. J., & Nearey, T. M. (2001). Effects of consonant Environment on vowel formant patterns. *Journal of the Acoustical Society of America*, 109(2), 748-763.
- Jachova, Z., Ristovska, L., & Spasov, L.J. (2021). Formant transitions as acoustic cues for place of articulation in speech perception. *The Annual of the Faculty of Philosophy in Skopje*, 74, 567-580.
- Kerdpol, K. (2012). Formant transitions as effective cues to differentiate the places of articulation of Ban Pa La-u Sgaw Karen Nasals. *MANUSYA: Journal of Humanities Regular*, 15(2), pp. 21-38.
- Kishon-Rabin, I., Dayan, M. and Michaeli, O. (2003). Effects of second-formant transition on the perception of Hebrew voiced stop consonants. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, 14(2), pp. 151-164.
- Ludlow, C.L., Kent, R.D., and Gray, L.C. (2019). Measuring voice, speech, and swallowing in the clinic and laboratory. *San Diego: Plural Publishing*, pp. 181, 188, 194.
- Mansuri, B., Mirahadi, S., Kamran, F., Tohidast, A., and 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.
- Marchal, A. (2009). *From speech physiology to linguistic phonetics*. London: ISTE, p. 173
- Modarresi Ghavami, G. (2015). Acoustic Reason for the phonological development. *Proceedings of Mohammad-Reza Bateni's Memoirs Conference*. Tehran: Farhange Moaser. PP: 415-445. [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.
- Raina, D., Chakraborty, S., and Velankar, M.R. (2014). Automatic classification of instrumental music & human voice using formant analysis. *International Journal of Advanced Research in Computer Science & Technology*, 2(2), pp. 242-245.
- Sadeghi, V. (2015). A Phonetic Study of Vowel Reduction in Persian. *Language Related Research*, 6(3), 165. [in Persian]
- Sadeghi, V., and Mahmoodi, S. (2021). An Acoustic Account of Turkic Vowels, *zabanpazhuhi*. 13(40), 227-255. [inpersian]
- Stevens, K. N. (1998). *Acoustic Phonetics*. Cambridge, MA and London: MIT Press Version 1.4.2 Formantpro. Praat.
- Story, B.H., and Bunton, K. (2010). Relation of vocal tract shape, formant transitions, and stop consonant identification. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 53, 1514-1528.
- Wang, H., and Van Heuven, V. (2006). *Acoustical analysis of English vowels produced by Chinese, Dutch and American speakers*. *Linguistics in the Netherlands* 237-248.
- Xu, U. (1999). A Praat script for large-scale systematic analysis of continuous formant movements. Version 1.4.2 Formantpro. Praat. (<http://www.homepages.ucl.ac.uk/~uclyyix/FormantPro/>).
- 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.



مقاله پژوهشی

## گذار سازه‌های در واژه‌های زبان ترکی گونه تبریز<sup>۱</sup>

\* وحید صادقی

\*\* سولماز محمودی 

### چکیده

از آنجایی که گذار سازه‌های همخوان به واژه حاوی یکی از سرخ‌های آکوستیکی برای تشخیص محل تولید همخوان است، بررسی میزان گذار سازه‌های یک واژه که همان شیب صعودی یا نزولی سازه در بافت CV است هدف اصلی پژوهش حاضر است. جهت نشان دادن مسیر تغییر مقادیر سازه‌های F1 و F2 هر یک از واژه‌های پیشین و پسین ترکی، شکل‌ها با نرم‌افزار اکسل ترسیم شد و از آنجایی که فضای سازه‌ها با توجه به ماهیت واژه در زنجیره گفتار تغییر قابل توجهی دارند تاثیر بافت آوایی بر روی مقادیر فرکانسی سازه‌های F1 و F2 در ناحیه گذار مربوط به همخوان‌های لی، تیغه‌ای و بدنه‌ای مورد بررسی قرار گرفت، به عبارتی با دسته‌بندی و تعمیم گذار سازه‌ها می‌توان پارامتری را تعیین کرد که به تشخیص محل تولید همخوان‌ها کمک کند. در نهایت مشخص شد گذار F1 همه واژه‌ها به صورت صعودی است. افزایش مقدار گذار F1 واژه پس از پایان رهش همخوان‌های لی، تیغه‌ای و بدنه‌ای یک سرخ آکوستیکی برای بازبودن مجرای دهان و عدم وجود گرفتگی در دستگاه گفتار است. تحلیل‌های آماری برای مقایسه فرکانس سازه دوم هر یک از واژه‌ها در دو نقطه آغاز و مرکز گذار همخوان‌های لی، تیغه‌ای، بدنه‌ای نشان داد که تنها در واژه‌های [a, u, o] تفاوت معناداری بین فرکانس سازه دوم در دو نقطه آغاز و مرکز گذار پس از همه همخوان‌های لی، تیغه‌ای و بدنه‌ای وجود دارد و در بقیه موارد اختلاف این دو متغیر معنادار نیست.

**کلید واژه:** واژه، گذار، سازه، تکیه، هجا، شیب صعودی یا نزولی.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی



## ۱- مقدمه

دو اصطلاح وضعیت گذار و حالت ایستا در مطالعه تغییر مسیر فرکانسی سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. حالت ایستا ناظر به ثبات نسبی مقادیر یک متغیر مانند سازه‌هاست و حالت گذار ناظر به عدم ثبات نسبی مقادیر است. ابتدای گذار منطبق بر آغاز واکه و انتهای گذار منطبق بر لحظه‌ای است که F2 به حالت ایستا می‌رسد؛ یعنی تغییرات F2 به حداقل می‌رسد و در صورتی که به سبب سرعت تولید گفتار و یا بی‌تکیه‌بودن هجا، واکه فاقد حالت ایستا باشد انتهای گذار لحظه‌ای است که F2 به حد پیشینه یا کمینه خود می‌رسد. وقتی واکه‌ها در حالت مجزا و فارغ از بافت و به صورت کشیده و یکنواخت تلفظ می‌شوند، مسیر تغییر مقادیر F1 و F2 شباهت زیادی به خط مستقیم دارد یعنی تغییر مقادیر سازه‌ها نزدیک به صفر است. در حالی که زنجیره گفتار توالی‌ای از واکه‌هاست که در لحظاتی از زمان همخوان‌ها بر روی آنها سوار می‌شوند. آواها در زنجیره گفتار همانند دانه‌های تسبیح نیستند که مستقل از یکدیگر پشت سر هم قرار گیرند بلکه در واحد زمان با یکدیگر همپوشی دارند که به همپوشی آواهای گفتار در واحد زمان، هم‌تولیدی گفته می‌شود. هم‌تولیدی یکی از مهم‌ترین عوامل به وجود آمدن تنوع و تغییر در کیفیت تولید یک واج است. واج‌های یک زبان تحت تاثیر بافت آوایی به صورت‌های متفاوت تولید می‌شوند و این تنوع در تولید منجر به تظاهر آکوستیکی متفاوت می‌شود (بی‌جن‌خان، ۱۳۹۲). از آنجایی که شکل هندسی گذار سازه دوم تابعی از دو متغیر مسیر محل گرفتگی و میزان گرفتگی الگوی واکه‌ای مجاور است و مسیر حرکتی سازه دوم با توجه به الگوی واکه‌ای مجاور قابل تغییر است، این پژوهش بر آن است تا به بررسی و مقایسه الگوی مسیر حرکتی گذار سازه‌های اول و دوم هر یک از واکه‌های پیشین و پسین پس از همخوان‌های زبان آذری بپردازد تا تاثیر بافت آوایی همخوان‌های لپی، تیغه‌ای، بدنه‌ای را بر روی سازه‌های اول و دوم هر یک از واکه‌های آذری مورد بررسی قرار دهد.

## ۲- پیشینه تحقیق

بسیاری از مطالعات (Baken & Orlikoff, 2000; Kerdpol, 2012; Kishon-Rabin et al., 2003)؛ اهمیت گذار سازه واکه بعد از همخوان را در تشخیص محل تولید همخوان نشان داده‌اند. ژاچووا<sup>۱</sup> و همکاران (2021:256) معتقدند گذار سازه منعکس‌کننده تغییر کلی شکل مجرای گفتار در حین تولید گفتار است و گذار F2 سرنخ آکوستیکی بافت-مقید برای تشخیص محل تولید همخوان است. به عبارتی شکل مسیر حرکت گذار وابسته به همخوان مجاور است. آنها با تحلیل گذار سازه‌های اول و دوم واکه‌های مقدونی<sup>۲</sup> در بافت همخوانی به این نتیجه رسیدند که گذار سازه F2 در بافت همخوان-واکه برای همخوان‌های کامی بیشترین و برای همخوان‌های لپی کمترین مقدار را دارد. همچنین مقادیر فرکانس دوم واکه‌ها در بافت سایشی بیشتر از مقادیر فرکانس دوم واکه‌ها در حالت مجزا و خارج از بافت است. دولاتره<sup>۳</sup> و همکاران (1995:770) معتقدند گذار سازه‌ای-تغییر فرکانس سازه‌های واکه در مجاورت همخوان-اطلاعات بسیاری را در مورد محل تولید همخوان دربردارد. آنها تأثیرپذیری سازه‌های هفت واکه [i, e, ε, a, ɔ, o, u] از همخوان مجاور را به صورت شکل (۱) نشان دادند. گذار سازه اول واکه‌ها در مجاورت هر سه همخوان [b, d, g] از فرکانس کمتری نسبت به فرکانس میانه سازه اول هر واکه برخوردار است، زیرا سازه اول متأثر از میزان بازبودن مجرای دهان است و هر چه مجرای دهان در تولید یک آوا بسته‌تر باشد، فرکانس سازه اول کمتر است. از آنجا که همخوان‌های انسدادی با بست کامل مجرای گفتار همراهند، بدیهی است که سازه اول واکه‌ها در مجاورت آنها از کمترین حد شروع می‌شود تا به نهایت آن برای یک واکه واحد برسد. اما سازه دوم متأثر از جایگاه تولید است. فرکانس سازه دوم در مجاورت [b] در کلیه بافت‌های واکه‌ای کمتر از میانه آن است، در حالی که فرکانس همین سازه در مجاورت [g] بیشتر از میانه واکه است. اما گذار سازه‌ای واکه در مجاورت [d] بسته به نوع واکه متغیر است.

<sup>1</sup> Jachova, Z.

<sup>2</sup> Macedonian

<sup>3</sup> Delattre, P.C.



شکل ۱- الگوی سازه‌های اول و دوم واکه‌ها پس از همخوان‌های انسدادی واگذار (Delattre et al., 1955: 770)

Fig 1- Pattern of the first and second Formants of vowels following voiced plosive consonants (Delattre et al., 1955: 770)

هیلن‌برند<sup>۱</sup> و همکاران (2001: 748-763) با اندازه‌گیری فرکانس سازه‌های F1 و F2 در هر ۵ میلی‌ثانیه به بررسی الگوهای تغییر طیفی فرکانس سازه در بافت‌های همخوانی متفاوت در هجاهای CVC پرداختند. نتایج حاکی از تاثیر بسیار زیاد بافت‌های آوایی بود. خصوصاً تغییر زیاد در الگوهای سازه‌های برای واکه‌های گرد در بافت لثوی دیده شد. آنها معتقدند تاثیر گذاری محل تولید همخوان بر روی سازه اول واکه‌ها کم است و این تاثیر بر روی سازه دوم واکه‌ها با توجه به نوع واکه و محل تولید همخوان متفاوت است. وقتی /u/ قبل از همخوان دندان‌لثوی تولید شود مقدار F2 به طور متوسط ۳۵۰ هرتز سیر صعودی دارد، اما وقتی واکه‌های پیشین به جز /i/ قبل همخوان‌های لبی و دندان‌لثوی تولید شوند مقدار F2 به طور متوسط ۱۰۰ تا ۲۰۰ هرتز سیر نزولی دارد و مقدار F2 به سمت واکه‌های مرکزی میل می‌کند اما تاثیر واگذاری و نحوه تولید همخوان‌ها بر روی واکه نسبتاً کم است و نیز مقدار F1 در واکه‌هایی که بین همخوان‌های واگذار تولید می‌شوند قدری کمتر از مقدار F1 در همان واکه‌هاست که بین همخوان‌های بی‌واک تولید می‌شوند.

بی‌جن‌خان (۱۳۷۴) وضعیت هندسی گذار سازه دوم برای همپوشی همخوانی-واکه‌ای در زبان فارسی را به صورت جدول (۱) خلاصه می‌کند:

جدول ۱- وضعیت هندسی گذار سازه دوم برای همپوشی‌های همخوانی-واکه‌ای در زبان فارسی (بی‌جن‌خان، ۱۳۷۴: ۲۸۸)

Table 1- Geometric status of the second formant transition for consonant-vowel coarticulations in Persian (Bijankhan, 1995: 288)

واکه	لیبی	دندان‌ی	لثوی	لثوی کامی	سختکامی	نرمکامی	ملازی
[i]	صعودی/شیب کم	صعودی/شیب کم	صعودی/شیب کم	نزولی/شیب کم	نزولی/شیب کم	نزولی/شیب کم	صعودی/شیب زیاد
[e]	صعودی/شیب کم	تراز	صعودی/شیب کم	تراز	نزولی/شیب کم	نزولی/شیب کم	صعودی/شیب کم
[a]	صعودی/شیب کم	نزولی/شیب کم	تراز	نزولی/شیب کم	نزولی/شیب زیاد	نزولی/شیب کم	نزولی/شیب کم
[u]	تراز	نزولی/شیب زیاد	نزولی/شیب زیاد	نزولی/شیب زیاد	نزولی/شیب زیاد	تراز	تراز
[o]	تراز	نزولی/شیب زیاد	نزولی/شیب زیاد	نزولی/شیب زیاد	نزولی/شیب کم	تراز	تراز
[ɑ]	تراز	نزولی/شیب زیاد	نزولی/شیب کم	نزولی/شیب کم	نزولی/شیب کم	تراز	تراز

بی‌جن‌خان (۱۳۷۴) معتقد است در نظام آوایی زبان فارسی، پارامتر محل گرفتگی برای الگوی [بست کامی] در جایگاه آغاز هجا با

<sup>1</sup> Hillenbrand, J. M.

توجه به مقدار این پارامتر برای الگوهای واکه‌ای تعیین می‌شود. به این معنی که چنانچه آغازۀ [بست کامی] همزمان با آغازۀ یک الگوی واکه‌ای پیشکامی فعال شود، در آن صورت پارامتر محل گرفتگی برای الگوی [بست کامی] با مقدار پیشکامی تظاهر آوایی دارد، اما اگر آغازۀ بست کامی همزمان با آغازۀ یک الگوی پس کامی فعال شود، متغیر محل تولید برای [بست کامی] با مقدار پس کامی تظاهر آوایی دارد براساس این محدودیت واج‌آرایی، فعالیت همزمان [بست پیشکامی] با آغازۀ یک الگو واکه‌ای پسکامی و یا [بست پسکامی] با آغازۀ یک الگو واکه‌ای پیشکامی غیرممکن است.

**صادقی (۱۳۸۵)** معتقد است یکی از پیچیدگی‌های توصیف صوت‌شناختی واج‌ها، تغییر شکل طیف فرکانسی واج‌ها با توجه به همپوشی الگوهای تولیدی واکه‌ای و همخوانی با یکدیگر است. از نظر آوایی همپوشی الگوی ناظر بر فرایند هم‌تولیدی در دستگاه گفتار است. همپوشی الگوهای تولیدی (الگوهای همخوانی با الگوهای واکه‌ای) در محدوده زمانی گذار آغازۀ یا پایانه واج موجب می‌شود تا گذار سازه‌های فرکانسی اول، دوم و سوم در حوزه فرکانس و شدت انرژی موج صوتی تغییر شکل دهند. به عبارتی پیامد تغییر شکل گذار سازه‌ها، تغییر میزان نسبی شدت انرژی در فرکانس‌های سازه‌های مؤثر واج است. یعنی توزیع نسبی انرژی بر روی فرکانس‌های مؤثر همخوان‌ها در هر بافت آوایی قابل تغییر است که این تغییر ناشی از تغییر شکل هندسی دستگاه گفتار (حفره‌های بازخوانی) در اثر فعالیت همزمان الگوهای واکه‌ای در آغازۀ یا پایانه فعالیت الگوهای همخوانی است. بنابراین وضعیت هندسی گذار سازه‌های مؤثر فرکانسی در فضای صوت‌شناختی، یکی از پارامترهای مهم در توصیف آواشناختی واج‌های زبان است. وی برای این منظور، الگوی صوت‌شناختی گذار آغازۀ و پایانه همخوان‌ها را از رهگذار تعیین وضعیت هندسی گذار فرکانس و انرژی سازه‌های اول، دوم و سوم مشخص می‌کند. او با بررسی طیف فرکانسی و طیف‌نگاشت زنجیره‌های واجی مربوطه، وضعیت هندسی گذار فرکانسی سازه‌های F1، F2 و F3 را برای همپوشی درون الگوی همخوان‌ها و الگوهای واکه‌ای در دو بافت CV و VC به دست آورده است. به طوری که الگوی گذار سازه فرکانس اول را تابعی از متغیر مسیر (فضای هندسی دستگاه گفتار) سطح مقطع گرفتگی حفره‌های بازخوانی یا الگو همخوانی می‌داند. بنابراین صرف‌نظر از آن که الگوی [بست] با کدام یک از الگوهای واکه‌ای به طور همزمان فعال می‌شود، با کاهش سطح مقطع گرفتگی دستگاه گفتار در لحظه بست، سازه فرکانس اول نزول کرده و با افزایش آن در لحظه رهش صعود می‌کند. از طرفی دیگر، الگوی شیب گذار سازه فرکانس دوم در لحظه بست و رهش همخوان‌های لبی با توجه به متغیر مسیر محل تولید الگو واکه‌ای قابل تغییر است که این تغییر به هنگام بست، سیر نزولی و به هنگام رهش، سیر صعودی دارد. از آنجایی که انسدادی‌های لبی و سایشی‌های لب و دندانی و خیشومی لبی (هر سه طبقه همخوانی) از رهگذار دینامیک الگوی لب تولید می‌شوند و گرفتگی آنها در حفره‌ای مشترک (حفره لب‌ها) ایجاد می‌شود، بنابراین شکل هندسی گذار سازه‌های فرکانسی برای همپوشی الگوی همخوانی با الگوهای واکه‌ای به یکدیگر شبیه است و تنها مقدار شیب در سایشی‌ها کمتر از انسدادی‌هاست، زیرا حفره‌های بازخوانی جهاز صوتی به طور کامل در وضعیت انسداد قرار نمی‌گیرند، بلکه یک گرفتگی باریک در سطح آنها ایجاد می‌شود. الگوی شیب گذار سازه فرکانسی دوم به هنگام بست و رهش همخوان‌های انسدادی، سایشی و انسدادی سایشی و خیشومی تیغه‌ای، تابعی از متغیر مسیر محل گرفتگی الگو همخوانی و میزان گرفتگی (الگوی واکه‌ای مجاور) الگو تولیدی بدنه زبان است. متغیر مسیر محل تولید الگو همخوانی در هر چهار طبقه واجی یکسان است یعنی هر چهار طبقه از همخوان‌ها از رهگذار فعالیت یک الگوی تولیدی مشترک که تیغه زبان است، تولید می‌شوند. متغیر مسیر محل گرفتگی الگو تیغه زبان در زبان فارسی دارای ارزش واجی است به این ترتیب که نگاشت این الگوی تولیدی به ناحیه لثه منجر به تولید سایشی‌های لثوی و به ناحیه لثه-کام موجب تولید سایشی‌های لثوی-کامی می‌شود. همچنین وضعیت هندسی گذار فرکانس سازه‌های فرکانسی برای سایشی‌های لثوی و سایشی‌های لثوی-کامی از بسیاری جهات شبیه به یکدیگر است که علت آن فعالیت یک الگوی تولیدی مشترک هنگام تولید آنهاست.

## وضعیت آکوستیکی واکه‌های ترکی

نظام واکه‌ای زبان آذری شامل ۹ واکه ساده است که براساس سه ارزش سطح ارتفاع زبان، پیشین-پسین و گردی لب‌ها از یکدیگر متمایز



می‌شوند. از نظر پارامتر سطح ارتفاع زبان، واژه‌ها به سه سطح افراشته (i, u, y, ə, ɔ, ɒ, e, o)، نیمه‌افراشته (e, ə, ɔ, o) و افتاده (a, ʌ, ɒ)، تقسیم می‌شوند. از نظر پارامتر پیشین-پسین، واژه‌ها به دو طبقه پیشین (i, y, ə, ɔ, e, u, a) و پسین (o, ʌ, u, ə, ɔ) و از نظر پارامتر گردی، واژه‌ها به دو دسته گرد (ə, ɔ, u, o, ʌ) و گسترده (a, ʌ, u, i, e) دسته‌بندی می‌شوند. این واژه‌ها در فضای آکوستیکی از طریق فرکانس سازه‌های F1 و F2 از یکدیگر متمایز می‌شوند. فرکانس F1 همبسته آکوستیکی سطح ارتفاع زبان و فرکانس F2 همبسته آکوستیکی پیشین و پسین بودن است. اندازه‌گیری فرکانس سازه‌ها یکی از عناصر تحلیل آکوستیکی واژه‌هاست و سازه‌های اول و دوم مهمترین سازه‌ها در تشخیص واژه هستند (Raina et al., 2014). سازه، تمرکز انرژی صوتی حول یک فرکانس خاص در موج صوتی است و بازخوان فرکانس پایه در مجرای گفتار است. سازه‌ها در طیف‌نگاشت باند پهن به صورت نوارهای سیاه رنگ افقی مشاهده می‌شوند که به صورت F1, F2, F3, F4 نامگذاری شده‌اند و از کمترین فرکانس شروع می‌شوند (Gunasekar et al., 2017). F2 که عمدتاً با پیش آمدگی زبان مرتبط است مقادیرش در واژه‌های پسین کم و در واژه‌های پیشین زیاد می‌شود (Ludlow et al., 2019).

**غفاروند مکاری<sup>۱</sup> و ورنر<sup>۲</sup>** (2016) جهت یافتن فضای ۹ واژه آذری، با بهنجار سازی آکوستیکی واژه‌ها با رویکرد درونی، فرکانس سه سازه اول، فرکانس پایه و دیرش واژه‌ها را در دو گروه مردان و زنان مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که واژه‌های [u] و [ø] در فضای واژه‌ای کاملاً با هم همپوشی دارند اما تفاوت دیرشی ۳۰ میلی ثانیه‌ای سازه‌های اول و دوم دو واژه و نتایج آزمون تشخیص خطی (الگوریتم ال.دی.ای<sup>۳</sup>) از فرکانس سازه سوم آنها است که مهمترین سرنخ برای تمایز این دو واژه از سوی شنوندگان می‌شود. به عبارتی مقادیر فرکانس سازه سوم این دو واژه تفاوت اساسی دارند. از طرفی دیگر اختلاف فرکانس سازه دوم بین دو واژه [i] و [o] بسیار کم است.

نتایج بررسی **مظفرزاده پیوستی** (2012) از واژه‌های آذری با ارائه مقادیر میانگین واحدی از فرکانس اول و دوم برای هر واژه از کل شرکت کنندگان زن و مرد نشان داد که مقادیر فرکانس سازه دوم واژه‌های [u] و [o] یکسان است.

**منصوری و همکاران** (2018) در بررسی ساختار سازه‌ای ۹ واژه آذری نشان دادند فرکانس پایه واژه‌های /a/ و /i/ در زنان، به طور معناداری بالاتر از مردان است. اما فرکانس پایه در هر دو جنس در زبان آذری کمتر از زبان فارسی است یعنی واژه‌ها در زبان آذری بم‌تر تولید می‌شوند. واژه‌های /a/ 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 /a/ و در زنان /o/ می‌باشد. همچنین، در هر دو جنس بیشترین F3 /i/ و کمترین /ø/ می‌باشد. واژه‌های /a/ و /i/ در هر دو جنس به ترتیب، بازترین و بسته‌ترین واژه‌ها هستند. واژه /i/ در هر دو جنس و واژه /a/ در مردان و /o/ در زنان به ترتیب پیشین‌ترین و پسین‌ترین واژه‌ها هستند. گردترین واژه آذری /ø/ و گسترده‌ترین آنها واژه /i/ می‌باشد.

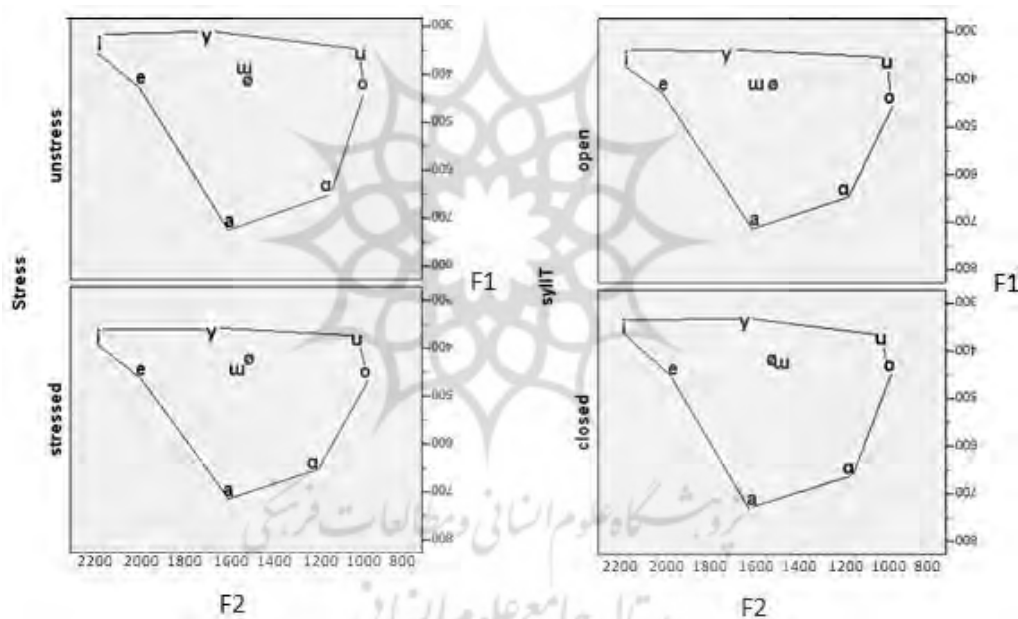
نتایج به دست آمده از تحقیقات صادقی و محمودی (۱۴۰۰) نشان داد نظام واژه‌ای زبان آذری شامل ۹ واژه ساده است که براساس سه ارزش سطح ارتفاع زبان، پیشین-پسین و گردی لب‌ها از یکدیگر متمایز می‌شوند. از نظر پارامتر سطح ارتفاع زبان، واژه‌ها به سه سطح افراشته (i, u, y, ə, ɔ, ɒ, e, o)، نیمه‌افراشته (e, ə, ɔ, o) و افتاده (a, ʌ, ɒ)، تقسیم می‌شوند. از نظر پارامتر پیشین-پسین، واژه‌ها به دو طبقه پیشین (i, y, ə, ɔ, e, u, a) و پسین (o, ʌ, u, ə, ɔ) و از نظر پارامتر گردی، واژه‌ها به دو دسته گرد (ə, ɔ, u, o, ʌ) و گسترده (a, ʌ, u, i, e) دسته‌بندی می‌شوند. بین واژه‌های عضو هر یک از جفت‌واژه‌های [ø]-[i], [y]-[i] و [ø]-[u] یک تقابل آکوستیکی از نظر ویژگی گردی برقرار است. آنها فضای واژه‌ای ترکی آذری را در دو موضع تکیه‌بر و بی تکیه (چپ) و دو جایگاه هجایی باز و بسته (راست) بدست دادند. همان‌طور که شکل‌های (۱) و (۲) نشان می‌دهد، F1 در بُعد عمودی فضای واژه‌ای به سه ناحیه آوایی قابل تفکیک است. واژه‌های [i], [u], [y] با مقادیر حداقلی فرکانس F1 به صورت [+افراشته] تولید شده‌اند؛ واژه‌های [a] و [ʌ] با مقادیر حداکثری فرکانس F1 به صورت [+افتاده] تولید

<sup>1</sup> Ghaffarvand Mokari, P.

<sup>2</sup> Werner, S.

<sup>3</sup> Linear Discriminant Analysis (LDA)

شده‌اند و واکه‌های [e]، [u]، [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 افراستگی [y] از [i] و [i] از [u] تا حدی بیشتر است. در بین واکه‌های افتاده، مقدار افتادگی [a] از [ɑ] بیشتر است؛ یعنی میزان پایین‌بودن 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]، [u]، [ø]، [o] به واکه‌های افراشته [i]، [u]، [y] نسبت به واکه‌های افتاده [a] و [ɑ] بسیار نزدیک‌ترند.<sup>۱</sup>



**نمودار ۱- فضای واکه‌ای ترکی به صورت تابعی از مقادیر فرکانس F1 و F2 در دو موضع تکیه‌بر و بی‌تکیه (چپ) در دو جایگاه هجای باز و بسته (راست) (صادقی و محمودی، ۲۴۴:۱۴۰۰)**

**Fig 1- Turkish vowel space as a function of frequency values F1 and F2 in two positions of stressed and unstressed (left) in both open and closed syllable positions (right) (Sadeghi and Mahmoodi, 244: 2021)**

<sup>۱</sup> این مسئله دو دلیل دارد: اول آن که اگر فرض کنیم بازهٔ فرکانسی F1 برای تولید واکه‌های افراشته بین ۲۰۰ تا ۳۵۰ هرتز باشد (Stevens, 1988)، واکه‌های افراشته [i]، [u]، [y] در ترکی آذری متوسطی نزدیک به بیشینهٔ این بازهٔ فرکانسی دارند؛ یعنی این واکه‌ها به لحاظ آکوستیکی کاملاً افراشته نیستند و از سطح ارتفاع بیشینهٔ بدنهٔ زبان فاصلهٔ نسبی دارند. دوم آن که اگر فرض کنیم بازهٔ فرکانسی F1 برای تولید واکه‌های نیمه‌افراشته بین ۴۰۰ تا ۶۰۰ هرتز باشد (Stevens, 1988)، طوری که سر ابتدایی این پیوستار متناظر با وضعیت نیمه‌افراستگی و سر انتهایی آن متناظر با وضعیت نیمه‌افتادگی باشد، واکه‌های [e]، [u]، [ø]، [o] در آذری متوسطی نزدیک به کمینهٔ این بازهٔ فرکانسی یا سر ابتدایی این پیوستار دارند. یعنی این واکه‌ها به لحاظ آکوستیکی نیمه‌افراشته‌اند و نه نیمه‌افتاده. براین 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 باعث نزدیکی قابل ملاحظهٔ واکه‌های [e]، [u]، [ø]، [o]، [y] و [ɑ] به واکه‌های افراشته [i]، [u]، [y] و دوری آنها از واکه‌های افتاده [a] و [ɑ] شده است.

آنچه از بررسی مقادیر فرکانس F2 بدست می‌آید این است که مقادیر F2 برای واکه‌های پیشین (i, e, a, y) بیشتر از واکه‌های مرکزی (ø, u) و نیز مقادیر فرکانس F2 برای واکه‌های مرکزی بیشتر از واکه‌های پسین (ø, u, a) است. در ناحیه پیشین فضای واکه‌ای با کاهش سطح ارتفاع بدنه زبان از میزان پیشین‌بودن واکه‌ها تا حدی کاسته شده است.<sup>۱</sup> در ناحیه پسین نیز با کاهش سطح ارتفاع بدنه زبان، واکه [a] نسبت به دو واکه [o] و [u] مرکزی‌تر تولید شده است.<sup>۲</sup> براین اساس، با توجه به الگوی توزیع واکه‌ها بر حسب فرکانس دوم می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که به لحاظ معیارهای آکوستیکی، دو واکه [i] و [e] پیشین، واکه‌های [o] و [u] پسین و واکه‌های [a] و [a] مرکزی‌اند. هرچند میزان مرکزی‌بودن [a] از [a] بیشتر است.<sup>۳</sup>

یافته‌های این پژوهش نشان داد هر یک از این جفت واکه‌ها شامل یک واکه غیرگرد ([i], [e] و [u]) و یک واکه گرد ([y], [ø] و [ø]) است. بنابراین، جفت واکه‌های [y]-[i] و [ø]-[e] در ترکی آذری نه تنها از طریق مقادیر فرکانس دوم، بلکه از طریق فرکانس‌های F3-F2 نیز از هم متمایز می‌شوند. همچنین، گرچه مقادیر فرکانس‌های اول و دوم جفت واکه‌های [ø]-[u] قادر به متمایز ساختن این واکه‌ها از یکدیگر نیست، ولی مقادیر اختلاف فرکانس سازه سوم و دوم، F3-F2، به خوبی این واکه‌ها را از یکدیگر متمایز می‌کند. اختلاف مقادیر پارامتر فرکانسی F3 یا F3-F2 در جفت‌واکه‌های [y]-[i]، [ø]-[e]، [ø]-[u] و [ø]-[u] با یکدیگر معنادار است و بین واکه‌ها در هر جفت-واکه، یک تقابل صوت‌شناختی از نظر ویژگی گردی برقرار است.

### ۳- روش پژوهش

روش شناسی پژوهشی به کار رفته در این تحقیق، روش واج‌شناسی آزمایشگاهی است. به ازای هر یک از واکه‌های ترکی آذری (ø, e, a, a, i, u, y, o, ø) ۴ واژه بسیط (بدون پسوند) دو هجایی با ساخت cv(c).cv(c)، از کلمات طبیعی زبان آذری انتخاب شدند. به طوری که واکه‌های هدف علاوه بر دو جایگاه هجایی باز و هجایی بسته، یک بار در بافت تکیه‌بر<sup>۴</sup> (به طور مشخص در جایگاه تکیه زیرومی هسته) و بار دیگر در موضع بی‌تکیه قرار گرفتند تا اثر احتمالی بافت نوایی بر کیفیت واکه کنترل گردد. بافت آوایی هر واکه در هر دو جایگاه یکسان در نظر گرفته شد (مانند sa.ruu, ruu.za و na.xuur, xuur.da). تا از این رهگذار بتوان شکل گذار مربوط به هر همخوان را بدست آورد. در بررسی تمامی واکه‌ها رفتار گذار سازه مربوط به هر همخوان بدون در نظر گرفتن جایگاه هجا و بافت تکیه‌ای مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بدین منظور همخوان‌ها را در شش طبقه دسته‌بندی می‌کنیم: لبی (m, b, p, f, v)، تیغه‌ای/پیش‌بسته ((دندانی-لثوی n, t, d, s, z

<sup>۱</sup> به‌طور مشخص، درحالی‌که واکه [i] در ناحیه پیشین فضای واکه‌ای قرار گرفته است، واکه [e] و [a] تا حدی از ناحیه پیشین فاصله گرفته و به سمت نواحی مرکزی‌تر فضای واکه‌ای متمایل شده‌اند. در این میان، میزان مرکزی‌شدگی واکه [a] از [e] به مراتب بیشتر است. این واکه به طور مشخص با کاهش بیشتر سطح ارتفاع بدنه زبان (نسبت به [e]) تا حد زیادی به سمت عقب دهان کشیده شده طوری که با واکه‌های افراشته و نیمه‌افراشته مرکزی [y, ø] و [ø] در یک راستا قرار گرفته است. همچنین، در بین واکه‌های نیمه‌افراشته، واکه‌های [u] و [ø] مرکزی‌تر از [o] و [e] هستند.

<sup>۲</sup> اما واکه [o] با وجود ارتفاع کمتر نسبت واکه افراشته [u]، اندکی پسین‌تر از این واکه تولید شده است. این واقعیت نشان می‌دهد توزیع واکه‌ها در دو ناحیه پیشین و پسین فضای واکه‌ای برحسب پارامتر F2 متقارن نیست.

<sup>۳</sup> در رابطه 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 آن که این تغییرات به سمت مرکز فضای واکه‌ای اتفاق نیفتاده است. علاوه 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.

۱. محل وقوع تکیه واژگانی بیشتر روی هجای پایانی کلمات قرار می‌گیرد و این الگو درباره انواع مختلف کلمات آذری از جمله اسم، صفت، قید، فعل و غیره صادق است. اکثر پسوندهای اشتقاقی و تصریفی تکیه‌برند ولی برخی از پسوندهای اشتقاقی و واژه‌بسته‌ها، نوعی دیگر از وندهای غیراشتقاقی، فاقد تکیه‌اند و بنابراین وقتی این نوع وندها به واژه اضافه می‌شوند، جایگاه تکیه واژه تغییر نمی‌کند (آرام، ۱۳۸۸). اما از آنجایی که محل وقوع تکیه همواره در پایان واژه قرار نمی‌گیرد و فرایندهای وندافزایی در مشخص کردن جایگاه آن موثر است، در این پژوهش از کلمات بسیط فاقد پسوند استفاده شده است.

(l، (لثوی کامی /j، ʒ، ʒ، (پیشین c، J و j)، (پسین/نرم کامی g)، (ملازی /x، ʎ). شایان ذکر است که گذر سازه دوم را در مورد همه همخوان‌ها از جمله همخوان‌های خیشومی (m و n) بدست آوردیم؛ مقدار فرکانس سازه خیشوم را بر مبنای معیارهای شدت انرژی و معیارهای فرکانسی تشخیص دادیم. بررسی داده‌ها نشان داد که مقادیر شدت انرژی و فرکانس سازه خیشومی‌ها کمتر از مقدار F2 واکه است. علاوه بر این تحلیل گذر سازه‌ها ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Formant Pro به صورت خودکار بدست آمد. در آنالیزی که نرم‌افزار Formant Pro انجام می‌دهد فرکانس گذر خود واکه بدست می‌آید زیرا نرم‌افزار، فرکانس حفرة خیشوم را با شدت انرژی بسیار کم به صورت سازه فرکانسی تشخیص نمی‌دهد و در محاسبات کمی نرم‌افزار دیده نمی‌شود. با این وجود به دلیل وجود سازه خیشوم در آن بافت‌ها برای حصول اطمینان از درستی تحلیل‌های نرم‌افزار، بار دیگر تحلیل به صورت دستی انجام شد.

در مرحله بعد خواهیم دید که آیا رفتار آکوستیکی هر یک از دو گروه تیغه‌ای و بدنه‌ای از نظر الگوی گذار سازه F2 با هم متفاوت هستند یا خیر. لازم به ذکر است که از توالی همخوان‌های پسین /g، x، ʎ با واکه‌های پیشین /ø، y/ (در هر دو جایگاه قبل و بعد از واکه) واژه‌ای در آذری یافت نشد، همچنین حضور واکه /e/ پیش از این همخوان‌ها در واژه‌ای دیده نشد. توالی همخوان‌های پیشین /c، ʎ/ با واکه‌های پسین /u، ʊ، o/ (در هر دو جایگاه قبل و بعد از واکه) واژه‌ای یافت نشد. به عنوان مثال در واژه‌ای مانند «خوراک» فرایند واجی هماهنگی واکه‌ای در جهت پیشین شدن واکه /o/ رخ نمی‌دهد.

از ۱۰ گویشوراز آذری زبان متولد و ساکن شهر تبریز در بازه سنی ۲۰ تا ۴۵ سال که همگی تحصیلات دانشگاهی داشتند و تنها به دو زبان ترکی (زبان مادری) و زبان فارسی تسلط داشتند خواسته شد تا ۱۴۴ واژه هدف پژوهش را در محیط آزمایشگاهی ۲ بار تولید کنند. به این ترتیب تعداد ۴=۲۸۸۰ (واژه)×۲×(تکیه)×۲×(هجاء)×۲×(تکرار)×۹×(واکه)×۱۰×(گویشور) واژه ضبط شد. چون محاسبات آماری اولیه نشان داد هیچ تعاملی بین جنسیت و متغیرهای واجی تحقیق یعنی تکیه و واژگانی، جایگاه هجا وجود ندارد جنسیت شرکت کنندگان در طراحی آزمون‌های آماری در نظر گرفته نشد. در واقع اثر عامل جنسیت بر مقادیر فرکانس سازه‌ها اغلب قابل پیش‌بینی است (به این معنی که با توجه به فرکانس پایه (F0) بالاتر زنان نسبت به مردان، مقادیر فرکانس تمامی سازه‌های فرکانسی در زنان نسبت به مردان بیشتر است). در محاسبات آماری پژوهش‌های آواشناختی وقتی مشخص شود اثر عامل جنسیت به عنوان یک متغیر اجتماعی بر توزیع مقادیر فرکانس سازه‌ها در گروه‌های مختلف داده‌های واجی پژوهش ثابت و قابل پیش‌بینی است و شکل گذر سازه‌ها هیچ وقت متفاوت نیست، یعنی جنسیت بر الگوی گذر سازه‌ها تاثیرگذار نیست. از این رو در این پژوهش، الگوی گذر سازه‌ها را بر تمامی داده‌ها فارغ از عامل جنسیت بررسی کردیم.

برای ضبط دیجیتال داده‌های آزمایش از میکروفون حرفه‌ای بیبرداینامیک 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 ۶/۱/۰۸ (Boersma & Weenink, 2019) روی طیف‌نگاشت با پهنای نوار متوسط انجام شد. علت استفاده از این نرم‌افزار، دقت زمانی بالا و امکان تحلیل همزمان موج صوتی و طیف‌نگاشت و نیز در دسترس بودن آن است. حداکثر فرکانس سازه‌ها برای مشاهده الگوهای طیفی، ۵ کیلوهرتز انتخاب شد.

در اینجا، فرمت سازه‌ها را در طول زمان برای هر محل تولید همخوان به طور جدا به دست آوردیم. شبکه متنی توسط برنامه فرمت‌پرو به اجرا در آمده است. بعد از انجام انسبل و حصول نرم‌الیزد فرمت‌ها در ۶ نقطه، به کمک نرم‌افزار اکسل، شکل‌های مسیر حرکتی فرمت‌های دوم برای هر واکه ترسیم کردیم. در واقع شبکه‌های متنی ۲۸۸۰ واژه در محیط پرت Praat و در مسیر <sound>annotate>to text gride ساخته شدند و در پوشه هر واژه، واکه هدف کلمات برچسب‌گذاری شدند. برای استخراج سازه‌ها، از برنامه نرم‌افزاری پرت با عنوان Formant pro ویرایش ۱/۴/۱ (Xu, 1999) استفاده شد. در این برنامه برای محاسبه فرکانس سازه‌ها از مسیر interactive

برچسب گذاری شده) هر یک از محرک‌های تولیدی (در اینجا هر کلمه تولید شده توسط یک گوینده خاص) هدف آزمایش، متوسط مقادیر پارامترهای آکوستیکی و مقادیر بهنجار شده فرکانس سازه‌ها را در سطح تمامی محرک‌ها به دست می‌دهد. برای اطمینان از صحت اندازه‌گیری‌های انجام شده، تمام اندازه‌گیری‌ها یک بار به صورت دستی کنترل شد و موارد اشتباه ناشی از خطاهای اندازه‌گیری خودکار در نرم‌افزار، در تحلیل‌های بعدی کنار گذاشته شد.

برای تقطیع آغاز و پایان واکه و اندازه‌گیری فرکانس سازه‌ها، طول کل واکه از زمانی که سازه دوم قوی آغاز می‌شود تا زمانی که سازه دوم قوی پایان می‌یابد توسط نرم‌افزار پرت تحدید و محاسبه شد. از آنجایی که ناحیه گذار تابع نحوه تولید همخوان‌هایی است که در دو طرف واکه قرار دارند، برای تحدید ناحیه فرکانسی گذار از همخوان به واکه، مطابق تحلیل بی‌جن‌خان (۱۳۹۲) ابتدای گذار را منطبق بر آغاز واکه (اولین دوره تناوب ارتعاش تارآواها بعد از رهش همخوان) و انتهای گذار را منطبق بر لحظه‌ای که تغییرات  $F2$  به حداقل و به حالت ایستا می‌رسد قرار می‌دهیم و اگر واکه فاقد حالت ایستا باشد انتهای گذار لحظه‌ای است که  $F2$  به حد بیشینه یا کمینه خود می‌رسد. میزان گذار  $F2$  را از طریق تفاضل مقدار  $F2$  در ابتدا و انتهای گذار  $F2$  به دست می‌آوریم و مدت زمان گذار بر حسب میلی ثانیه باید مشخص شود تا معلوم شود افزایش و کاهش  $F2$  در واحد زمان چه میزان بوده است.

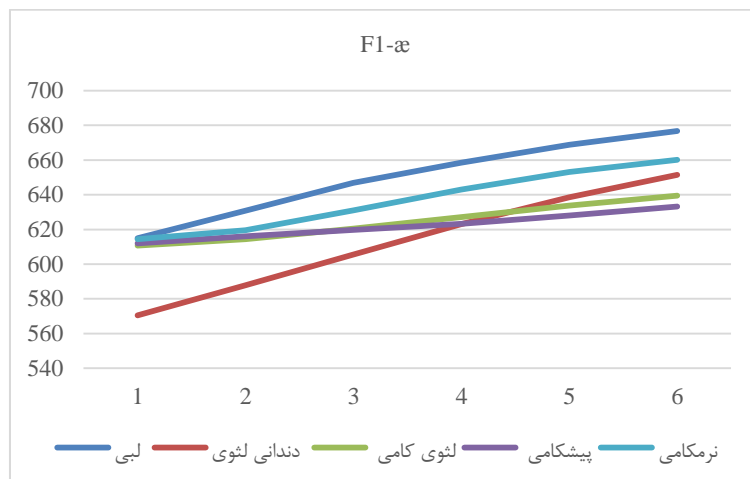
همان‌طور که پیش از این نیز اشاره شد هدف از این پژوهش بررسی میزان گذار سازه‌های یک واکه (که همان شیب صعودی یا نزولی سازه در بافت CV مجاور همه همخوان‌های ترکی است نه بررسی معادله مکانی) است. زیرا برای محاسبه معادله مکانی و استخراج شیب گذر سازه‌ها باید مقادیر زوج‌های مرتب  $F2$  مربوط به آغاز و میان واکه را در رابطه با همخوان‌های انسدادی واکدار و بی‌واک با محل تولید متفاوت را جمع‌آوری و سپس ضرایب همبستگی این زوج‌ها و شیب خط رگرسیون و عرض از مبدأ مربوطه را با تحلیل‌های آماری مجزا بدست آورد که در حوصله این مقاله نمی‌گنجد. با توجه به این که این پژوهش اولین کار در رابطه با گونه‌های آذری در ایران است که به وضعیت گذار سازه‌ها می‌پردازد، تلاش بر این است تا گذار سازه‌ها برای دو سازه موثر اول (همان فرکانس اول و دوم) بدست آید و سپس شکل کلی گذار سازه‌ها استخراج شود. در حالی که در معادله مکانی تنها به فرکانس سازه دوم پرداخته می‌شود که نیازمند تحقیق جداگانه‌ای است.

لازم به توضیح است که واکه‌های نیمه‌افراشته آذری در هجای پایانی واژه ظاهر نمی‌شوند. بنابراین برای بررسی این واکه‌ها در جایگاه تکیه‌بر از کلمات تک‌هجایی استفاده شد. در گونه محاوره، واکه‌های گرد افراشته در هجای باز به جفت غیرگرد تبدیل می‌شوند و این باعث می‌شود که هیچ واکه افراشته‌گردی در پایان واژه در داده‌های ضبط شده ما وجود نداشته باشد از این‌رو از گویشوران خواسته شد کلمات، مطابق نوشته خوانده شود گرچه این تلفظ کنترل شده به نظرشان نامانوس می‌رسید.

#### ۴- الگوی گذار سازه‌ها بر مبنای محل تولید همخوان (cv)

##### ۴-۱- الگوی گذار سازه اول

الگوی شیب گذار فرکانس اول در تمامی الگوهای واکه‌ای به هنگام رهش بست همخوانی همزمان با کاهش سطح مقطع گرفتگی حفره زبان به صورت شیب صعودی است و مقدار آن بسته به میزان سطح ارتفاع واکه متفاوت است. در واقع هر قدر بر میزان گستردگی الگو واکه‌ای افزوده می‌شود سیر صعودی سازه فرکانسی به هنگام رهش گرفتگی بیشتر می‌شود. شکل (۲) وضعیت هندسی گذار سازه اول واکه [a] برای همپوشی الگوهای همخوانی-واکه‌ای (CV) نشان می‌دهد.



شکل ۲- مسیر حرکت گذار سازه اول واکه [a] پس از همخوان‌های ترکی

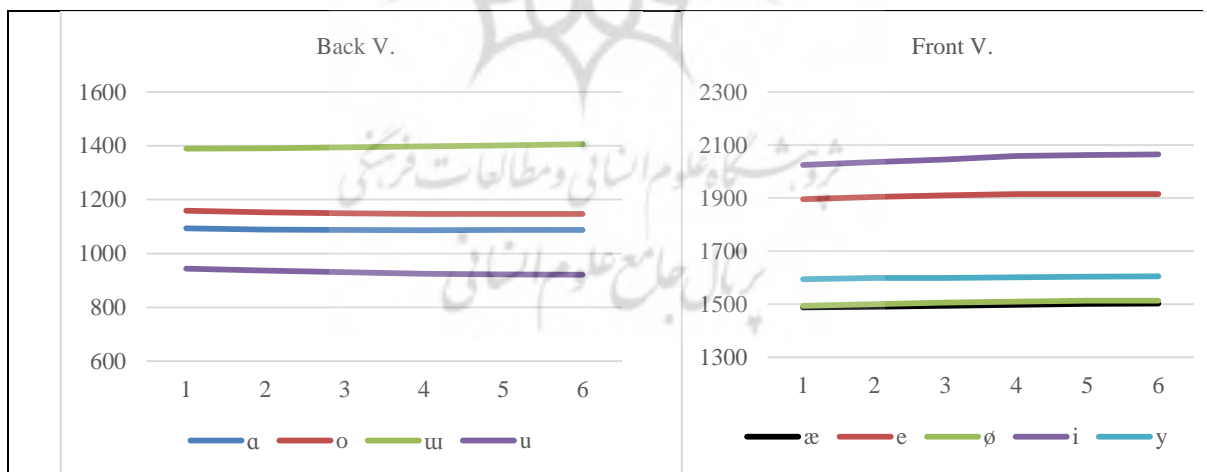
Fig 2- The path of the first formant transition of the vowel [a] following Turkish consonants

## ۴-۲- الگوی گذار سازه دوم

### ۴-۲-۱- الگوی گذار سازه دوم بعد از همخوان‌های لبی (p, b, f, v و m)

شکل (۳) وضعیت هندسی گذار سازه دوم واکه‌های پیشین و پسین آذری را برای همپوشی الگوهای همخوانی-واکه‌ای (CV) نشان می‌دهد که در آن همخوان‌های لبی (p, b, f, v و m) در جایگاه آغاز هجا واقع هستند.

چنانکه مشاهده می‌شود گذار سازه دوم واکه‌های پیشین [a], [e], [ø], [y] که با لحظه رهش یعنی پایانه الگو تولیدی بست دولبی و یا لب و دندانی همزمان شده است، مسیر حرکتی تراز دارند به جز واکه [i] که گذار آن به صورت صعودی با شیب کم است. از سوی دیگر، الگوی گذار سازه دوم واکه‌های پسین [a], [o], [u], [w] نیز همچون اغلب واکه‌های پیشین تراز است.



شکل ۳- مسیر حرکتی گذار سازه دوم واکه‌های پیشین (سمت راست) و واکه‌های پسین (سمت چپ) پس از همخوان‌های لبی

Fig 3- The path of the second formant transition of the front vowels (right) and the back vowels (left) following Labial consonants

برای مقایسه اختلاف فرکانس سازه دوم واکه‌ها در دو نقطه آغاز و مرکز واکه برای همپوشی الگوهای همخوانی-واکه‌ای (CV) برای همخوان‌های لبی از آزمون تی دو گروه مشابه<sup>۱</sup> استفاده شد. نتایج (جدول ۲) نشان داد مقادیر فرکانس F2 برای هیچ یک از واکه‌ها اعم از

<sup>1</sup> Paired samples T Test

پیشین یا پسین در دو نقطه آغاز و مرکز واکه در گذار از همخوان‌های لبی به واکه با یکدیگر تفاوت معناداری ندارد.

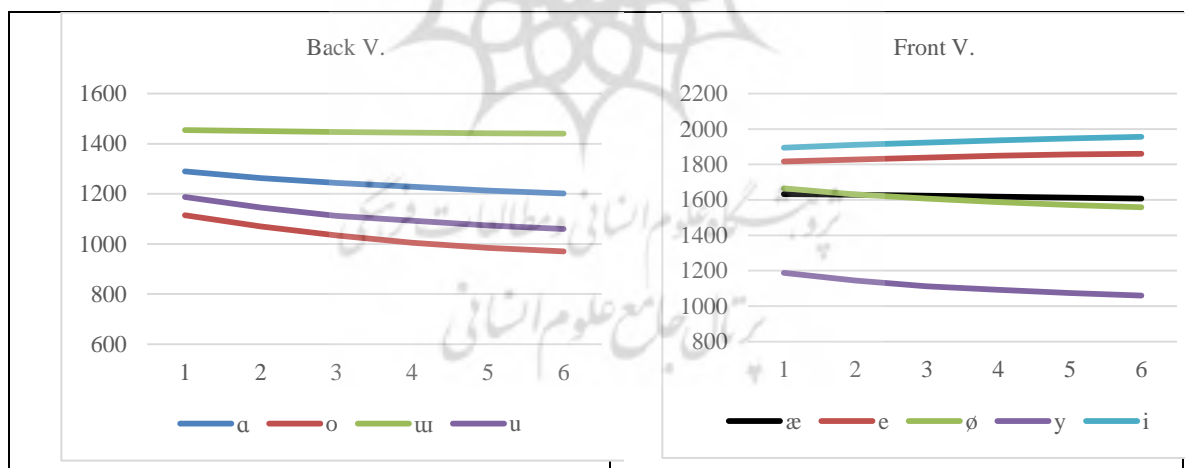
**جدول ۲- خلاصه نتایج آزمون‌های تی دو گروه مشابه در محاسبه سطح معناداری اختلاف مقادیر فرکانس F2 نقطه آغاز و مرکز گذار واکه‌های هدف پس از همخوان‌های لبی**

**Table 2- Summary of the results of T-tests of two similar groups in calculating the significance level of the difference between the F2 frequency values of the onset and the mid points of the target vowels after the labial consonants**

واکه	مقدار t	سطح معناداری
[a]	t=1.32	p=0.027
[e]	t=-1.92	p=0.13
[ø]	t=2.21	p=0.11
[i]	t=-1.19	p=0.31
[y]	t=1.46	p=0.21
[ɑ]	t=1.77	p=0.14
[o]	t=1.87	p=0.13
[u]	t=1.33	p=0.27
[ɯ]	t=2.08	p=0.12

#### ۲-۲-۴. الگوی گذار سازه دوم بعد از همخوان‌های تیغه‌ای دندانی-لثوی (l, m, t, d, s, z)

به طور کلی در همپوشی الگوی [بست تیغه‌ای] با واکه‌های پیشین الگوی گذار سازه دوم برای واکه‌های [a], [e], [ø] و [i] به صورت صعودی با شیب کم یا تراز و برای واکه [y] نزولی با شیب اندک است. برای واکه‌های پسین، الگوی گذار F2 به صورت نزولی با شیب اندک [ɑ], [o] و [u] و یا به صورت تراز ([ɯ]) است. شکل (۴) وضعیت هندسی گذار سازه دوم واکه‌های پیشین و پسین آذری را برای همپوشی‌های همخوانی-واکه‌ای (CV) در مجاورت همخوان‌های تیغه‌ای دندانی-لثوی نشان می‌دهد.



**شکل ۴- مسیر حرکت گذار سازه دوم واکه‌های پیشین (سمت راست) و واکه‌های پسین (سمت چپ) پس از همخوان‌های تیغه‌ای دندانی لثوی**

**Fig 4- The path of the second formant transition of the front vowels (right) and the back vowels (left) following alveolo-dental consonants**

در جدول (۳)، مقایسه اختلاف فرکانس سازه دوم واکه‌ها در دو نقطه آغاز و مرکز واکه برای همپوشی الگوهای همخوانی-واکه‌ای (CV) برای همخوان‌های تیغه‌ای دندانی-لثوی بر مبنای آزمون تی دو گروه مشابه<sup>۱</sup> نشان داده شد، فرکانس F2 واکه‌های پسین [ɑ], [o] و

<sup>1</sup> Paired samples T Test

[u] در دو نقطه آغاز و مرکز واکه در گذار از همخوان‌های تیغه‌ای دندانی-لثوی به واکه با یکدیگر تفاوت معنادار دارند ولی برای سایر واکه‌ها اختلاف فرکانس F2 در دو نقطه مورد نظر با یکدیگر معنادار نیست.

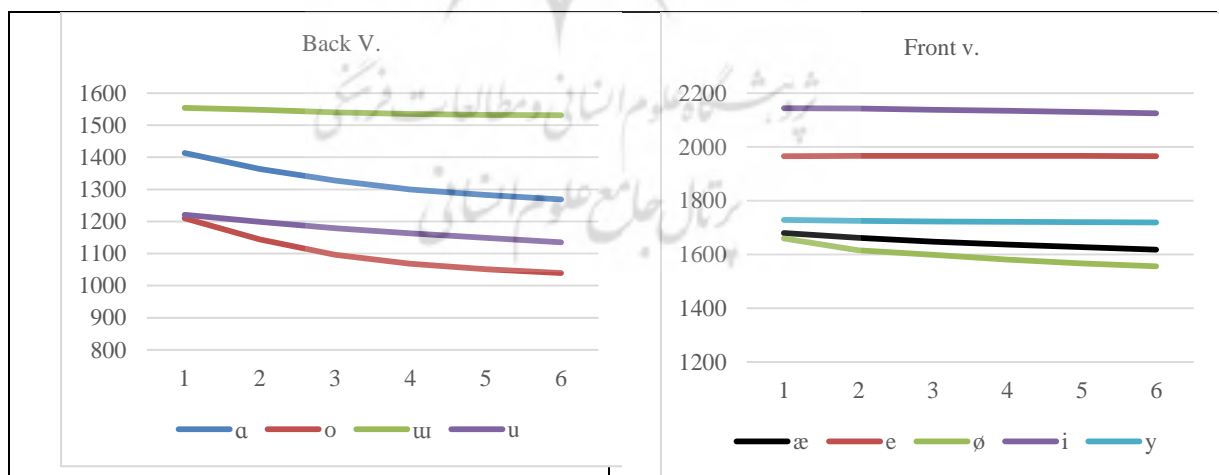
**جدول ۳- خلاصه نتایج آزمون‌های تی دو گروه مشابه در محاسبه سطح معناداری اختلاف مقادیر فرکانس F2 نقطه آغاز و مرکز گذار واکه‌های هدف پس از همخوان‌های تیغه‌ای دندانی-لثوی**

**Table 3- Summary of the results of T-tests of two similar groups in calculating the significance level of the difference between the F2 frequency values of the onset and the mid points of the target vowels after the alveolo-dental consonants**

واکه	مقدار t	سطح معناداری
[a]	t=2.19	p=0.11
[e]	t=-0.93	p=0.4
[ø]	t=1.37	p=0.25
[i]	t=-1.18	p=0.29
[y]	t=1.55	p=0.18
[ɑ]	t=2.83	p=0.033
[o]	t=2.79	p=0.038
[u]	t=1.34	p=0.26
[u]	t=2.68	p=0.043

### ۳-۲-۴- الگوی گذار سازه دوم بعد از همخوان‌های تیغه‌ای لثوی کامی (j, ʒ, dz, ts, r)

بررسی‌ها نشان داد شیب تغییرات گذار سازه دوم برای واکه‌های پیشین در مجاورت همخوان‌های تیغه‌ای لثوی-کامی همچون تیغه‌ای‌های دندانی-لثوی تراز است. همچنین، شیب گذار تغییرات سازه دوم برای واکه‌های پسین در مجاورت همخوان‌های تیغه‌ای لثوی-کامی نزولی است. اما میزان شیب نزولی F2 برای واکه‌های پسین مختلف متغیر است. برای [o] و [ɑ] مقدار شیب نزولی F2 زیاد، برای [u] متوسط و برای واکه افراشته غیرگرد [ɯ] اندک (در حد تراز) است. شکل (۵) وضعیت هندسی گذار سازه دوم واکه‌های آذری را برای همپوشی‌های همخوانی-واکه‌ای (CV) نشان می‌دهد که در آن‌ها همخوان‌های تیغه‌ای لثوی کامی (j, ʒ, dz, ts, r) در جایگاه آغاز هجا قرار دارند.



**شکل ۵- مسیر حرکت گذار سازه دوم واکه‌های پیشین (سمت راست) و واکه‌های پسین (سمت چپ) پس از همخوان‌های تیغه‌ای لثوی کامی**

**Fig 5- The path of the second formant transition of the front vowels (right) and the back vowels (left) following alveolo-palatal consonants**



نتایج تحلیل‌های آماری تی دو گروه مشابه (جدول ۴) نشان داد اختلاف فرکانس F2 واکه‌های پسین [a], [o], [u] در دو نقطه آغاز و مرکز واکه در گذار از همخوان‌های تیغه‌ای لثوی-کامی به واکه با یکدیگر معنادار است ولی برای واکه‌های دیگر، مقادیر فرکانس F2 در نقاط گذار مورد نظر با یکدیگر تفاوت معناداری ندارند.

**جدول ۴- خلاصه نتایج آزمون‌های تی دو گروه مشابه در محاسبه سطح معناداری اختلاف مقادیر فرکانس F2 نقطه آغاز و مرکز گذار واکه‌های هدف پس از همخوان‌های تیغه‌ای لثوی-کامی**

**Table 4- Summary of the results of T-tests of two similar groups in calculating the significance level of the difference between the F2 frequency values of the onset and the mid points of the target vowels after the alveolo-palatal consonants**

واکه	مقدار t	سطح معناداری
[a]	t=1.61	p=0.2
[e]	t=-1.49	p=0.23
[ø]	t=1.75	p=0.14
[i]	t=-0.87	p=0.47
[y]	t=1.12	p=0.36
[ɑ]	t=5.48	p<0.001
[o]	t=4.29	p<0.001
[u]	t=1.279	p=0.257
[u]	t=3.71	p=0.019

#### ۴-۲-۴- الگوی گذار سازه دوم بعد از همخوان‌های بدنه‌ای سختکامی (c, ʃ, ʒ و j)

شکل (۶) وضعیت هندسی گذار سازه دوم ۹ واکه آذری را برای همپوشی‌های همخوانی-واکه‌ای (CV) نشان می‌دهد که در آن‌ها همخوان‌های بدنه‌ای سختکامی (c, ʃ, ʒ و j) در جایگاه آغاز هجا واقع هستند. چنانکه مشاهده می‌شود شیب گذار فرکانس F2 واکه‌های پیشین [e, y, i, ø] به هنگام رهش همخوان‌های سختکامی، نزولی با شیب کم یا تراز و برای واکه پیشین [a]، نزولی با شیب متوسط است. برای واکه‌های پسین، الگوی کلی گذار F2 برای تمامی واکه‌ها، صرف نظر از نوع واکه، به صورت نزولی با شیب زیاد یا متوسط است.



**شکل ۶- مسیر حرکت گذار سازه دوم واکه‌های پیشین (سمت راست) و واکه‌های پسین (سمت چپ) پس از همخوان‌های سختکامی**

**Fig 6- The path of the second formant transition of the front vowels (right) and the back vowels (left) following palatal consonants**



نتایج تحلیل‌های آماری تی دو گروه مشابه (جدول ۶) نشان داد اختلاف مقادیر فرکانس F2 در دو نقطه آغاز و مرکز واکه فقط برای واکه پیشین افتاده [a] معنادار است و برای سایر واکه‌ها، اختلاف معناداری بین مقادیر فرکانس F2 در نقاط گذار مورد نظر وجود ندارد.

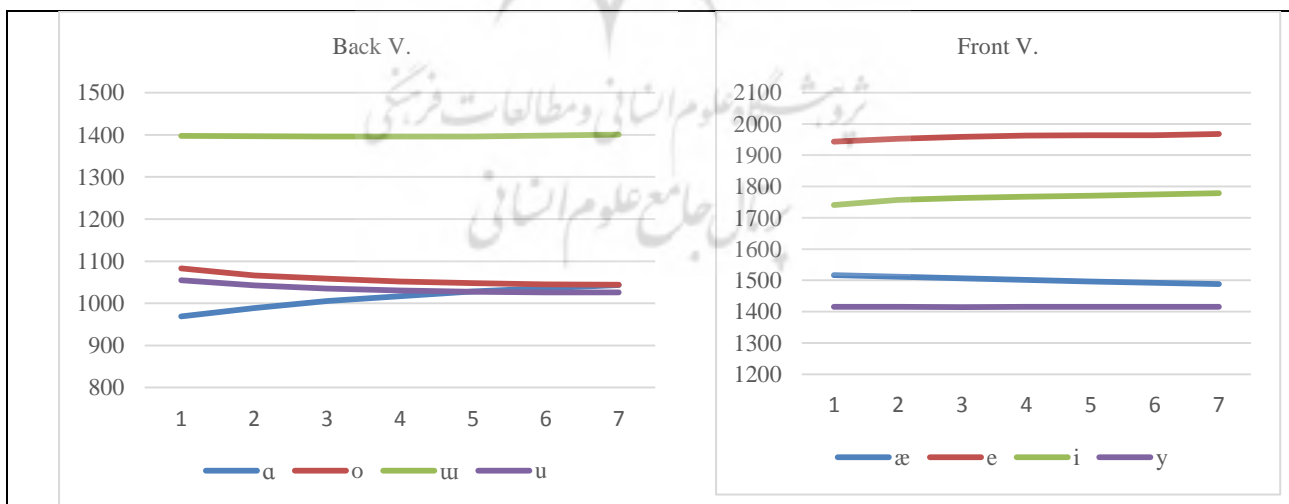
**جدول ۶- خلاصه نتایج آزمون‌های تی دو گروه مشابه در محاسبه سطح معناداری اختلاف مقادیر فرکانس F2 نقطه آغاز و مرکز گذار واکه‌های هدف پس از همخوان نرمکامی (g)**

**Table 6- Summary of the results of T-tests of two similar groups in calculating the significance level of the difference between the F2 frequency values of the onset and the mid points of the target vowels after the velar consonants**

واکه	مقدار t	سطح معناداری
[a]	t=2.81	p=0.034
[e]	t=-.920	p=0.400
[ø]	t=1.27	p=0.36
[i]	t=-1.17	p=0.34
[y]	t=1.33	p=0.23
[ɑ]	t=1.43	p=0.21
[o]	t=0.86	p=0.48
[u]	t=1.29	p=0.35
[u]	t=0.63	p=0.56

#### ۶-۲-۴- الگوی گذار سازه دوم بعد از همخوان بدنه‌ای ملازی (x, y)

شکل (۸) وضعیت هندسی گذار سازه دوم واکه‌های آذری را برای همپوشی الگوهای همخوانی-واکه‌ای (CV) نشان می‌دهد که در آن‌ها همخوان‌های ملازی (x, y) در جایگاه آغاز هجا واقع هستند. این شکل نشان می‌دهد الگوی گذار F2 برای همپوشی آغاز همه واکه‌های پیشین و پسین با پایانه همخوان‌های ملازی به صورت تراز است و تنها واکه پسین [ɑ] گذاری صعودی با شیب اندک دارد (لازم به توضیح است که هیچ داده‌ای در زبان آذری یافت نشد که در آن واکه [ø] مرکز هجا باشد و همخوان‌های ملازی، آغاز آن را تشکیل دهند.



**شکل ۸- مسیر حرکت گذار سازه دوم واکه‌های پیشین (سمت راست) و واکه‌های پسین (سمت چپ) پس از همخوان‌های بدنه‌ای ملازی**  
**Fig 8- The path of the second formant transition of the front vowels (right) and the back vowels (left) following uvular consonants**

مقایسه‌های آماری تی دو گروه مشابه (جدول ۷) نشان داد اختلاف مقادیر فرکانس F2 در دو نقطه آغاز و مرکز واکه برای هیچ یک از واکه‌ها معنادار نیست.

**جدول ۷- خلاصه نتایج آزمون‌های تی دو گروه مشابه در محاسبه سطح معناداری اختلاف مقادیر فرکانس F2 نقطه آغاز و مرکز گذار واکه‌های هدف پس از همخوان‌های ملازی**

**Table 7- Summary of the results of T-tests of two similar groups in calculating the significance level of the difference between the F2 frequency values of the onset and the mid points of the target vowels after the uvular consonants**

واکه	مقدار t	سطح معناداری
[a]	t=1.66	p=0.16
[e]	t=-1.97	p=0.12
[ø]	t=0.85	p=0.47
[i]	t=-1.11	p=0.31
[y]	t=0.73	p=0.51
[ɑ]	t=1.72	p=0.14
[o]	t=0.83	p=0.48
[u]	t=0.94	p=0.41
[u]	t=1.9	p=0.13

## ۵. بحث و نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج حاصل از مطالعه آکوستیکی شیب گذار سازه‌های اول و دوم به شرح زیر است:

- شیب گذار F1 در تمامی الگوهای واکه‌ای به هنگام رهش بست همخوانی در CV صعودی است و میزان آن بسته به سطح ارتفاع واکه متفاوت است به این صورت که مقدار شیب در واکه‌های افتاده بیشتر از واکه‌های نیمه افراشته و افراشته است.
- برای همخوان‌های لبی، شیب تغییرات گذار سازه دوم برای واکه‌های پیشین و پسین تراز است. به بیان دیگر، همپوشی همخوان‌های لبی با هیچ یک از الگوهای واکه‌ای پیشین یا پسین در CV، تغییر محسوسی در مسیر حرکتی سازه F2 ایجاد نمی‌کند.
- برای همخوان‌های تیغه‌ای دندانی لثوی، الگوی گذار F2 برای تمامی واکه‌ها به غیر از سه واکه پسین [ɑ]، [o] و [u] تراز است. برای واکه‌های پسین [ɑ]، [o] و [u] شیب تغییرات F2 نزولی با مقدار کم است. بنابراین، به هنگام گذار از همخوان‌های تیغه‌ای دندانی لثوی به واکه در CV، F2 یا تغییر نمی‌کند (در اغلب واکه‌ها) و یا تغییر آن به صورت نزولی با شیب اندک (در مورد واکه‌های [ɑ]، [o] و [u]) است.
- الگوی گذار F2 برای تمامی واکه‌ها در همپوشی با همخوان‌های تیغه‌ای لثوی-کامی بسیار شبیه به تیغه‌ای‌های دندانی لثوی است، با این تفاوت که شیب تغییرات نزولی F2 برای واکه‌های پسین [ɑ]، [o] و [u] در همپوشی با همخوان‌های تیغه‌ای لثوی-کامی بیشتر از همخوان‌های دندانی لثوی است.
- همخوان‌های بدنه‌ای سختکامی به هنگام همپوشی با واکه‌های پسین در CV موجب تغییرات نزولی F2 با شیب متوسط تا زیاد می‌شوند. همینطور، همپوشی این همخوان‌ها با واکه پیشین افتاده [ɑ] با شیب نزولی تغییرات F2 با مقدار متوسط همراه است. ولی گذار F2 برای تمامی واکه‌های پیشین به غیر از [ɑ] تقریباً تراز است.
- برای همخوان نرمکامی /g/ شیب تغییرات گذار سازه دوم برای تمامی واکه‌های پیشین و پسین به غیر از [ɑ] تراز است. برای [ɑ] تغییرات F2 به صورت نزولی با شیب اندک است.
- و بالاخره این که برای همخوان‌های ملازی، الگوی گذار F2 برای تمامی واکه‌ها صرف نظر از پیشین و پسین بودن، تراز است.

جدول (۸) وضعیت هندسی گذار سازه دوم برای همپوشی‌های همخوانی-واکه‌ای در زبان ترکی آذری را به طور خلاصه بیان می‌کند:

**جدول ۸- وضعیت هندسی گذار سازه دوم برای همپوشی‌های همخوانی-واکه‌ای در زبان ترکی**

**Table 8- Geometric status of the second formant transition for consonant-vowel coarticulations in Turkish**

واکه	لیبی	دندانی لثوی	لثوی کامی	سختکامی	نرم کامی	ملازی
[i]	تراز	تراز	تراز	تراز	تراز	تراز
[e]	تراز	تراز	تراز	تراز	تراز	تراز
[a]	تراز	تراز	تراز	نزولی با شیب متوسط	نزولی با شیب کم	تراز
[ø]	تراز	تراز	تراز	تراز	تراز	تراز
[y]	تراز	تراز	تراز	تراز	تراز	تراز
[u]	تراز	نزولی با شیب کم	نزولی با شیب متوسط	نزولی با شیب زیاد	تراز	تراز
[o]	تراز	نزول با شیب کم	نزول با شیب زیاد	نزولی با شیب زیاد	تراز	تراز
[ɑ]	تراز	نزولی با شیب کم	نزولی با شیب زیاد	نزول با شیب زیاد	تراز	تراز
[u]	تراز	تراز	تراز	نزولی با شیب متوسط	تراز	تراز

مطابق جدول فوق، الگوی گذار سازه دوم برای همپوشی‌های همخوانی-واکه‌ای در زبان ترکی آذری تابع سه عامل واجی است: (۱) محل تولید همخوان؛ (۲) پیشین و پسین بودن واکه؛ (۳) نوع واکه.

چنانکه ملاحظه می‌شود، در رابطه با محل تولید همخوان، سه طبقه همخوان‌های لیبی، نرمکامی و ملازی، مسیر حرکتی فرکانس سازه F2 را تغییر نمی‌دهند، زیرا شیب تغییرات گذار سازه دوم برای تمامی واکه‌ها اعم از واکه‌های پیشین و پسین در مجاورت این همخوان‌ها عمدتاً تراز است. این یافته در خصوص گذار سازه دوم واکه‌های آذری در توالی همخوانی-واکه‌ای در محل تولید همخوان‌های لیبی، نرمکامی و ملازی همسو با یافته‌های بی‌جن‌خان (۲۴۲:۱۳۹۲) در مورد زبان فارسی است. بی‌جن‌خان نشان داده است گذار سازه دوم واکه بعد از همخوان‌های لیبی، نرمکامی و ملازی همریخت و به صورت تراز یا نزولی و صعودی با شیب بسیار کم است. به این ترتیب، چون محل تولید لیبی در ابتدای حفره دهان و محل تولید نرمکامی و ملازی در انتهای حفره دهان قرار دارد، تاثیر یکسانی بر گذار سازه‌ها می‌گذارند. از سوی دیگر، الگوی گذار سازه دوم در واکه‌های پسین (به طور مشخص سه واکه پسین [ɑ]، [o] و [u]) بعد از همخوان‌های دندانی لثوی، لثوی-کامی و سختکامی، اغلب به صورت نزولی با شیب متوسط تا زیاد است. در حالی که همپوشی این همخوان‌ها با واکه‌های پیشین تغییری در مسیر حرکتی F2 ایجاد نمی‌کند. بر این اساس، همخوان‌هایی که در مرکز حفره دهان با فعالیت تیغه (همخوان‌های دندانی لثوی، لثوی-کامی) یا جلوی مرکز زبان (همخوان‌های سختکامی) در نواحی لته تا ابتدای نرمکام تولید می‌شوند، در همپوشی با واکه‌های پسین [ɑ]، [o] و [u] باعث تغییر نزولی شیب گذار سازه دوم می‌شوند. این یافته با یافته‌های بی‌جن‌خان (۱۳۹۲) برای زبان فارسی و دولاتره و همکاران (۱۹۵۵) برای انگلیسی مطابقت کامل دارد. دولاتره و همکاران (۱۹۵۵) گزارش کرده‌اند که الگوی گذار سازه دوم در واکه‌های پیشین [i] و [e] بعد از همخوان‌های تیغه‌ای در زبان انگلیسی به صورت تراز و در سایر واکه‌ها به صورت نزولی است. طبق بی‌جن‌خان (۱۳۹۲)، برای همخوان‌های دندانی لثوی، لثوی-کامی و سختکامی، شیب تغییرات گذار سازه دوم برای واکه‌های پسین در زبان فارسی اغلب نزولی با شیب متوسط تا زیاد است. این پژوهشگر، گذار F2 در واکه‌های پیشین فارسی را به هنگام همپوشی با همخوان‌های دندانی لثوی، لثوی-کامی و سختکامی، تراز یا نزولی با شیب اندک گزارش کرده است. این شباهت بنیادی در الگوی گذار F2 در زبان‌های ترکی و فارسی اساساً مؤید این واقعیت است که تغییرات فرکانسی سازه دوم به هنگام هم تولیدی واکه با همخوان، رویدادی آواشناختی مربوط به سازوکارهای ناظر بر دینامیک دستگاه گفتار است که به صورت یک فرایند تولیدی خودکار در نظام آوایی زبان‌ها روی می‌هد.

پیشین و پسین بودن واکه نیز در ترکی بر شیب تغییرات گذار سازه دوم تا حد زیادی تأثیرگذار است. طبق جدول (۸) مسیر حرکتی سازه دوم واکه‌های پیشین در همپوشی با تمامی الگوهای همخوانی تقریباً تراز است و بدون تغییر باقی می‌ماند در حالی که فرکانس سازه دوم واکه‌های پسین (به ویژه سه واکهٔ پسین [a]، [o] و [u]) بعد از همخوان‌های تیغه‌ای و سختکامی تا حد زیادی تغییر می‌کند (نزولی با شیب متوسط تا زیاد). این یافته نیز با یافته‌های بی‌جن‌خان (۱۳۹۲)، برای زبان فارسی تا حد زیادی مطابقت دارد. بی‌جن‌خان، در مطالعهٔ خود، گزارش کرده است، شیب تغییرات گذار سازه دوم واکه‌های پسین در مقایسه با واکه‌های پیشین در هم‌تولیدی همخوان با واکه در اغلب موارد بیشتر است.

نکتهٔ پایانی مربوط به تأثیر نوع واکه بر تغییرات گذار سازه دوم است. جدول (۸) نشان می‌دهد الگوی گذار F2 تا حدی متأثر از نوع واکه از حیث پارامترهایی کیفی مانند سطح ارتفاع زبان و گردی است. به طور مثال، در حالی که مقادیر F2 واکه‌های پسین [a]، [o] و [u] در همپوشی با الگوهای همخوانی تیغه‌ای یا سختکامی در CV به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد، واکهٔ پسین [u] در همپوشی با این همخوان‌ها و البته تمامی همخوان‌های دیگر اغلب الگویی تراز دارد. همین‌طور، فرکانس F2 واکهٔ [a]، بر خلاف دیگر واکه‌های پیشین، در همپوشی با برخی الگوهای همخوانی مانند همخوان‌های سختکامی و نرمکامی، تا حدی دچار تغییر می‌شود. این تغییرات در الگوی گذار سازه دوم البته محدود به زبان ترکی نیست و برای زبان‌های دیگر از جمله فارسی (بی‌جن‌خان، ۱۳۹۲) و انگلیسی (Delattre et al., 1955) گزارش شده است.

### کتابنامه

- آرام، یوسف (۱۳۸۸). اشتقاق در زبان ترکی آذربایجانی. پایان‌نامه دکتری. تهران: دانشگاه علامه طباطبایی.  
بی‌جن‌خان، محمود (۱۳۹۲). نظام آوایی زبان فارسی، تهران: سمت.  
بی‌جن‌خان، محمود (۱۳۷۴). بازنمایی واجی و آوایی زبان فارسی و کاربرد آن در بازشناسی خودکار گفتار، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تهران، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، گروه زبان‌شناسی.  
صادقی، وحید (۱۳۸۵). بازشناسی واجی کلمات فارسی: رویکردی مبتنی بر نظریه بهینگی. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تهران.  
صادقی، وحید و سولماز محمودی. (۱۴۰۰). مطالعهٔ صوت شناختی واکه‌های ترکی، زبان پژوهی، د ۱۳، ش ۴۰، پایب ۴۰، ص ۲۲۷-۲۵۵.  
Aram, Y. (2009). *Derivation in the Azerbaijani Turkish*. PhD. Dissertation, Allameh Tabataba'i University. [In Persian].  
Baken, R.J. & Orlikoff, R.F. (2000). Clinical measurement of speech and voice. 2nd ed. *San Diego: Singular Thomson Learning*, pp. 273-274.  
Bijankhan, M. (1995). *Phonetic and Phonological Representation and its application on Electronic Speech phonology*. PhD. Dissertation. Tehran University. [In Persian].  
Bijankhan, M. (2013). *Phonetic system of the Persian language*. Tehran: Samt [In Persian].  
Boersma, P., & Weenink, D. (2010). "Praat: Doing phonetics by computer. Version 6. 1. 08. Praat manual". (Vide. <http://www.fon.hum.uva.nl/praat>).  
Delattre, P.C., Liberman, A.M., and Cooper, F.S. (1955). Acoustic loci and transitional cues for consonants. *JASA* 27, 769-773.  
Ghaffarvand Mokari, P., and Werner, S. (2016). An Acoustic Description of Spectral and Temporal Characteristics of Azerbaijani Vowels. *Poznań Studies in Contemporary Linguistics* 52(3), 503-518.  
Gunasekar, C., Sabrigirinathan, C., Vinayagavel, K., and Ramkumar, K. (2017). The acoustic parameters for analyzing speech with complete dentures. *International Journal of Dental Research*, 5(2), 115-120.  
Hillenbrand, J. M., Clark, M. J., and Nearey, T. M. (2001). Effects of consonant Environment on vowel formant patterns. *Journal of the acoustical Society of America*, 109(2), 748-763.  
Jachova, Z., Ristovska, L., and Spasov, LJ. (2021). Formant transitions as acoustic cues for place of articulation in speech perception. *The Annual of the Faculty of Philosophy in Skopje*, 74, 567-580.  
Kerdpol, K. (2012). Formant transitions as effective cues to differentiate the places of articulation of Ban Pa La-u Sgaw Karen Nasals. *MANUSYA: Journal of Humanities Regular* 15(2), 21-38.  
Kishon-Rabin, I., Dayan, M. and Michaeli, O. (2003). Effects of second-formant transition on the perception of Hebrew voiced stop consonants. *Journal of Basic and Clinical Physiology and pharmacology* 14(2), 151-164.

- Ludlow, C.L., Kent, R.D. & Gray, L.C. (2019). Measuring voice, speech, and swallowing in the clinic and laboratory. *San Diego: Plural Publishing*, pp. 181, 188, 194.
- Mansuri B., Seyyede Mirahadi, S., Kamran, F., Seyyed Tohidast, 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.
- Mozaffarzadeh Peivasti, S. (2012). An acoustic analysis of Azerbaijani vowels in Tabrizi dialect. *Journal of Basic and Applied Scientific Research* 2(7). 7181-7184.
- Raina, D., Chakraborty, S. & Velankar, M.R. (2014). Automatic classification of instrumental music & human voice using formant analysis. *International Journal of Advanced Research in Computer Science & Technology*, 2(2), 242-245.
- Sadeghi, V., & Mahmoodi, S. (2021). An Acoustic Account of Turkic Vowels, *Zabanpazhuhi* 13, 227-255. [in Persian]
- Sadeghi, V. (2006). Phonological Recognition of Persian words: based on the optimality theory. PhD. Dissertation, Tehran University. [in Persian]
- Stevens, K. N. (1998). *Acoustic Phonetics*. Cambridge, MA and London: MIT Press Version 1.4.2 Formantpro. Praat.
- Xu, U. (1999). A Praat script for large-scale systematic analysis of continuous formant movements. Version 1.4.2 Formantpro. Praat. (<http://www.homepages.ucl.ac.uk/~uclyyix/FormantPro/>).



