-- Biannual Scientific Journal Language Science -------
Spring & Summer 2023, 10 (17), 37-82
ls.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/LS.2020.46542.1270

Original Research
Received: 12/Dec/2019 Accepted: 18/Agu/2020
ISSN: 2423-7728 eISSN: 2538-2551

/k/ Lenition in Persian History: A Laboratory Phonology View

Fahimeh Khodaverdi — Ph.D. Student of Linguistics, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

Golnaz Modarresi Ghavami * — Associate Professor, Linguistics Department, Faculty of Persian Literature & Foreign Languages, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

Mojtaba Monshizadeh — Full Professor, Linguistics Department, Faculty of Persian Literature & Foreign Languages, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran

1. Introduction

Consonants are unstable in intervocalic or pre-consonantal positions and opted for reduction (Honeybone, 2008). The process is referred to as lenition or weakening through which consonants lose their consonantal features and become more vowel-like diachronically or synchronically (Trask, 2000: 90; Ashby & Maidment, 2005: 141). Lenition of /k/ in those weak positions in the history of Persian passing from Old Iranian through present-day Persian is a good example. The process is well exemplified in the verbal tense alternations as shown in 1):

*Corresponding Author: modarresighavami@atu.ac.ir
How to Cite: Khodaverdi, F., Modarresi Ghavami, G., & Monshizadeh, M. (2023). /k/ Lenition in Persian History: A Laboratory Phonology View. *Language Science*, 10 (17), 37-82. doi: 10.22054/LS.2020.46542.1270.

Table 1: *Sound Changes Resulting in Past/Present Alternation*

"to ignite"	prefix-root-past tense suffix	prefix-root-present tense suffix
Old Iranian	*abi-√rauk (> raux)-ta	*abi-√rauk (> rauč)-a
	↓	↓
Middle Persian	abrōx-t	abrōz
	↓	↓
Present day Persian	afrux-t	afruz
Sound Change	k→x/— + t	k→ č/V— +V č→z/V—+V

In (1) the tense maker suffixes /-ta/ and /-a/ in past and present forms respectively prepare pre-consonantal and intervocalic contexts for /k/ where it can be lenited. Lenition of /k/ to [x] before /t/ and to [tʃ] and [z] intervocalically, before the front vowel /a/ is the subject of the present article. Its goal is to investigate the acoustic grounds of the changes in the framework of Laboratory Phonology (Ohala, 1984; Pierrhumbert et al., 1996; Tams, 2018).

2. Literature Review

Similar sound changes observed in different languages of the world even from different language families have been proved to be articulatorily/ perceptually motivated. Some studies on the field are presented below.

Iverson and Salmons (1995) believe that voiceless aspirated stops are prone to spirantization because of their short closure period. Furthermore, the feature [spread glottis] in aspirated stops is the equivalent of the noise in fricative sounds.

Ohala (1983) mentions that the affricated release before the front high vowel is a natural phenomenon as the closer oral cavity in the articulation of those vowels makes the rapid airflow accompany frication moving through the narrow channel.

Keating and Rahili (1993) have proven the acoustic and articulatory similarity between the velar stop and coronal affricates before the front vowel using X-ray. They have observed that the frequency of the main spectral peak in consonant release depends on the following vowel. As such, velar stops have a higher peak before front vowels.

Chang et al. (2001) have prepared us with the point that the acoustic similarity between velar stops and affricates in the context of front vowels results in listener misperceptions. Changing [ki] to [ʧi] as they have observed in Slavic languages, is such a case.

Bateman (2007: 203 & 213-214) attributed the /k/ palatalization to the overlapping of articulatory gestures. Palatalization is due to the phasing differences between those gestures; to the onset and the offsets of the gestures.

Zigis et al. (2008) have studied VOT, spectral peak, formant transition and the amplitude of release burst as the acoustic cues of velar stop /k/ before vowels in Germany. Their investigation's result is that the aspiration of aspirated [k^h] is the main motivation for it to be precepted as [ʧ], while the lenition of unaspirated [k] might be observed not only in front of front vowels, but also before low central vowel /a/ and word finally as well.

Recasens and Espinosa (2003) and Recasens (2011) believe that /k/ lenition to [ʧ] before front vowels in Romance Languages passes through the front [c] sound. The place of articulation of [c] can be pre-palatal and its longer fricated release is the motivation for it being perceived as an affricative or fricative sound. Recasens (2011) has also pointed out that /k/ lenition in stressed syllables is more probable. /k/ has a more forwarded place of articulation, a bigger contact with the palate and a stronger release in stressed syllables, all of which features make it closer to affricates and fricatives.

3. Methodology

Historical Laboratory Phonology (HLP) is the methodological framework of this article. The first steps in HLP are discovering and classifying diachronic changes as being analogical generalizations or physical grounding sound changes rooted in articulatory/perceptual systems shared with mankind. Such physical cues are recoverable in the laboratory environment. Based on this and in order to replicate the phonetic context of the pre-mentioned diachronic changes within the framework of laboratory phonology, present-day Persian forms containing the same phonetic contexts were uttered twice by two male speakers of Persian and recorded and analyzed using the Praat software (version 5.3.63). Then the acoustic results of pronounced /k/ were compared to the acoustic cues of affricates and fricatives in /V—t/ and /V—a/ as well as in /—e, o, ɑ/ contexts both in stressed and unstressed syllables. The comparison made it possible to differentiate the acoustic characteristics of the target sound in front vs. back vowel context. The results of laboratory investigations were statistically analyzed using an Independent-Samples t-test.

4. Conclusion

The results of the acoustic analysis of the recorded samples and Independent-Samples t-test indicated that [á, é] being front and stressed motivate a high degree of /k/ fronting and /k/ being aspirated and located in intervocalic position is liable to spirantization/affrication. Intervocalic fronted [c] and [ʧ] are acoustically similar to each other as well as to [ʃ] and [s]. The consonants [c] and [x] have certain common acoustic characteristics when they appear in /V—t/. Therefore, [c] is prone to be weakened and interpreted as a fricative/affricate in such contexts.

Keywords: diachronic lenition, velar stop, Laboratory Phonology, Historical Phonology, Persian Language

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۸

ISSN: ۲۴۲۳-۷۷۲۸ eISSN: ۲۵۳۸-۲۵۵۱

-- دوفصلنامه علمی علم زبان ---------

دوره ۱۰، شماره ۱۷، بهار و تابستان ۱۴۰۲، ۳۷ـ۸۲

ls.atu.ac.ir

DOI: 10.22054/LS.2020.46542.1270

تضعیف همخوان /k/ در تاریخ زبان فارسی از دیدگاه واج‌شناسی آزمایشگاهی

فهیمه خداوردی دانشجوی دورهٔ دکتری زبان‌شناسی، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

گلناز مدرسی قوامی * دانشیار گروه زبان‌شناسی، دانشکده ادبیات فارسی و زبان‌های خارجی، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

مجتبی منشی‌زاده استاد گروه زبان‌شناسی، دانشکده ادبیات فارسی و زبان‌های خارجی، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

چکیده

همخوان /k/ در ساخت ستاک حال برخی فعل‌های فارسی باستان و برخی صورت‌های غیرفعلی آن، در بافت /V—a, e/ به آواهای [ʒ] و [z] تبدیل‌شده‌است و در ساخت گذشتهٔ همان افعال در بافت /V—t/ به آوای [x] تغییر کرده‌است. مقالهٔ حاضر به بررسی پایه‌های صوت‌شناختی این تضعیف درزمانی در قالب واج‌شناسی آزمایشگاهی می‌پردازد. به‌منظور بازسازی بافت آوایی این تغییرات تاریخی، صورت‌هایی از فارسی امروز که دارای بافت‌های فوق هستند، توسط دو گویشور مرد فارسی معیار دو بار تکرارشدند. تحلیل صوت‌شناختی نمونه‌ها که به‌وسیلهٔ نرم‌افزار پرت نسخهٔ ۵/۳/۶۳ ضبط‌شدند و نتایج آزمون تی نمونه‌های مستقل نشان‌دادند که پیشین‌بودن و تکیه‌بربودن واکه‌های /á, é/ دلیل پیشین‌شدگی /k/ و دمیدگی و قرارگیری آن در بافت میان‌واکه‌ای، انگیزهٔ انسایشی/ سایشی‌شدگی آن است. در این بافت، ویژگی‌های صوت‌شناختی انسدادی پیشین [c] و انسایشی [ʧ] به یکدیگر و در مواردی، به سایشی [ʃ] و حتی [s] شبیه‌اند. [c] در بافت /V—t/ نیز ویژگی‌های آوایی سایشی را نشان‌می‌دهد و در برخی پارامترها، به [x] نزدیک است. بنابراین، [c] در این بافت‌ها مستعد تبدیل و تعبیر به آواهای انسایشی/ سایشی است.

کلیدواژه‌ها: تضعیف آوایی درزمانی، همخوان انسدادی نرمکامی، واج‌شناسی تاریخی، واج‌شناسی آزمایشگاهی، زبان فارسی.

- مقالهٔ حاضر برگرفته از رسالهٔ دکتری زبان‌شناسی دانشگاه علامه طباطبائی است.

* نویسنده مسئول: modarresighavami@atu.ac.ir

۱. مقدمه

همخوان‌ها در جایگاه میان دو واکه و در پایان هجا پیش از همخوان آغازهٔ هجای بعد، وضعیت ناپایداری دارند و غالباً دستخوش تغییراتی می‌شوند (Honeybone, 2008). این تغییرات که از آنها با عنوان نرم‌شدگی[1] یا تضعیف[2] یادمی‌شود، دگرگونی‌هایی هستند که طی آن عنصری ویژگی‌های همخوانی خود را ازدست‌می‌دهد و بیش‌ازپیش، به واکه‌ها شبیه می‌شود (Trask, 2000: 90; Ashby & Maidment, 2005: 141). سایشی‌شدگی[3] همخوان /k/ پیش از همخوانی دیگر و نیز در بافت میان‌واکه‌ای در گذر از ایرانی باستان به فارسی امروز، نمونهٔ بارز همین نوع تغییرات است. مصداق چنین تغییراتی در تناوب[4] ریشهٔ فعلی در صورت‌های گذشته و حال گروهی از فعل‌های زبان فارسی، مانند *افروخت ~ افروز؛ سوخت ~ سوز؛ ریخت ~ ریز* و نظایر آن یافت‌می‌شود. سیر تحول این گونه صورت‌ها در تاریخ زبان فارسی و تغییرات آوایی صورت‌گرفته را می‌توان در نمونهٔ شمارهٔ (۱) دید (ابوالقاسمی، ۱۳۷۳: ۲۹ـ۳۰)[5]:

(۱)

ایرانی باستان	rau**x**)-ta > *abi-√rau**k** (	*abi-√rau**k** (> rau**č**)-a
	↓	↓
فارسی میانه	abrō**x**-t	abrō**z**
	↓	↓
فارسی امروز	afru**x**-t *افروخت*	afru**z** *افروز*
تغییر آوایی	+ t—k→x/	+V—k→ č/V +V —č→z/V

مجاورت تکواژهای /ta-/ و /a-/ در ایرانی باستان، با همخوان /k/ در جایگاه پایانی ریشه‌های فعلی، منجر به تضعیف این همخوان شده است، اما به‌دلیل متفاوت بودن بافت تضعیف (بافت پیش‌همخوانی در برابر بافت میان‌واکه‌ای)، نتیجهٔ این فرایند متفاوت بوده و

1. lenition
2. weakening
3. fricativization/spirantization
4. alternation

۵. در آوانویسی داده‌های هر منبع از نشانه‌های به‌کاررفته در همان اثر استفاده شده است.

به تناوب میان صورت‌های گذشته و حال در فعل‌هایی از این دست در فارسی امروز منجرشده‌است. سایشی‌شدگی همخوان /k/ محدود به بافت تکواژ /ta-/ نیست. در واقع، یکی از مشخصه‌هایی که زبان ایرانی اولیه[1] را از زبان هندی اولیه[2] متمایز می‌ساخته، ظهور همخوان سایشی بی‌واک /x/ در جایگاه پیش از همخوان (Testen, 1997: 572) و بعضاً پیش از واکه در زبان ایرانی است. مجموعه مثال‌های (۲) این تغییر را نشان‌می‌دهند (حسن‌دوست، ۱۳۹۳: ذیل مدخل‌ها):

(۲)

	فارسی امروز	ایرانی باستان	هندواروپایی
شیر	šir	√**xš**īrá	-*√**k**šīrá
(نوشیدن ی)			
شاه	šɑh	√**xš**a(>a:)ja-θja-	*√**k**seį̈-tį̈-
وخش *(گفتن)*	vaxš	√wā**xš**-	*√u̯ō**k**-ᵘ**s**-
سرخ	sorx	√su**xr**a-	*√k̈u**k**-**l**o-
تخم	tox m	-tu**x**-**m**an√	-**m**en-tu**k***√
روشن	ro:ša n	√rau**xš**-na-	*√leu**k**-**s**-no-
شب	šab	√**xš**ap-	ᵘsep-*√**k**

این گونه مثال‌ها نشان‌می‌دهند که در ایرانی باستان، توالی /kC/ هندواروپایی[3] با توالی /xC/ جایگزین شده‌است. در چنین خوشه‌هایی، هنگامی که C همخوان /š/ بوده‌است، /x/ در دورهٔ بعد حذف‌شده‌است، اما در مجاورت دیگر همخوان‌ها و از جمله در مجاورت تکواژ گذشته‌ساز /t-/ باقی‌مانده‌است. این ویژگی زبان فارسی مشابه به زبان انگلیسی است.

1. Early Iranian
2. Early Indic
3. Indo-European

قانون سایشی‌شدگی ژرمنی[1] منجر به سایشی‌شدن /k/ به [x] قبل از همخوان‌های لثوی تکواژ گذشته‌ساز /-t, -d/ در ستاک برخی از فعل‌های زبان انگلیسی باستان شده‌است. سپس، از اواخر دورهٔ انگلیسی میانه [x] در آنها حذف‌شده‌است و تناوب‌های امروزی buy/bought [baɪ]~[bɔ:t] و teach/taught [ti:ʧ]~[tɔ:t] شکل گرفته اند (Anderwald, 2009: 4-6 & 199).

در صورت‌های حال فعل‌های فارسی، همخوان /k/ بین دو واکه، قبل از واکهٔ پیشین قرارداشته است و در این بافت نه‌تنها شیوهٔ تولید آن، بلکه جایگاه تولید و وضعیت حنجره نیز تغییر کرده و به بافت واکه‌ای شبیه‌تر شده‌است. به‌بیان دیگر، انسدادی نرمکامی /k/ طی دو فرایند نرم‌شدگی نرمکامی[2] (Zigis et al., 2008; Recasense, 2011) و پیشین‌شدگی (Calabrese, 1965: 301) به انسایشی پس‌لثوی [č] تغییر یافته و این همخوان اخیر نیز با پشت سر گذاشتن همین دو فرایند، در نهایت به سایشی لثوی [z] تبدیل‌شده‌است (k > č > z). تغییر در جایگاه نخستین تولید همخوان‌های بدنه‌ای، غالباً با سایشی‌شدگی آنها همراه است و در نتیجه، این همخوان‌ها به شکل آوایی انسایشی ظاهرمی‌شوند (Krämer & Urek, 2015). پیشین‌شدگی همخوان‌های نرمکامی نیز معمولاً در بافت واکه‌های پیشین /i, e/ و غلت /j/ دیده‌می‌شود (Chen, 1973; Bhat, 1978; Hall, 2000) و در این فرایند جایگاه واکه نسبت به ارتفاع آن نقش مهم‌تری دارد (Bhat, 1978; Kochetov, 2011). نمونه‌های پیشین‌شدگی و انسایشی‌شدگی /k/ به [č] در تاریخ زبان فارسی فراوان‌اند (حسن‌دوست، ۱۳۹۳: ذیل مدخل‌ها):

(۳)

	فارسی امروز	ایرانی باستان	هندواروپایی
چاره	**č**ɑre	√**č**a:raka-	-*√**k**er
چرم	**č**arm	√**č**arman-	*√(s)**k**ᵘer-
چشم	**č**ašm	√**č**ašman-	ᵘeḱ-s-*√**k**
چنگ	**č**ang	√**č**anga-	*√**k**engo-
چهار	**č**ahɑr	-√**č**aθwar	ᵘetuer-*√**k**

1. Germanic Spirantization Law
2. velaric softening

حتی در فارسی امروز نیز در تلفظ واژه‌هایی مانند *پوک* و *پوچ*، *کرک* و *کرچ*، *کمچه* و *چمچه*، *کلباسه* و *چلپاسه* (فرهنگ دهخدا، ۱۳۷۷: ذیل مدخل واژه‌ها) میان این دو همخوان تناوب دیده‌می‌شود. تناوب میان [k] و [č] در اکثر این واژه‌ها و در مثال‌های (۳) به جایگاه آغازین واژه محدود است و هرگاه همخوان /k/ در بافت بین دو آوای رسا قرار گرفته، در تحول زبان فارسی به [ǰ] یا [z] تغییریافته‌است (حسن‌دوست، ۱۳۹۳: ذیل مدخل‌ها):

(۴)

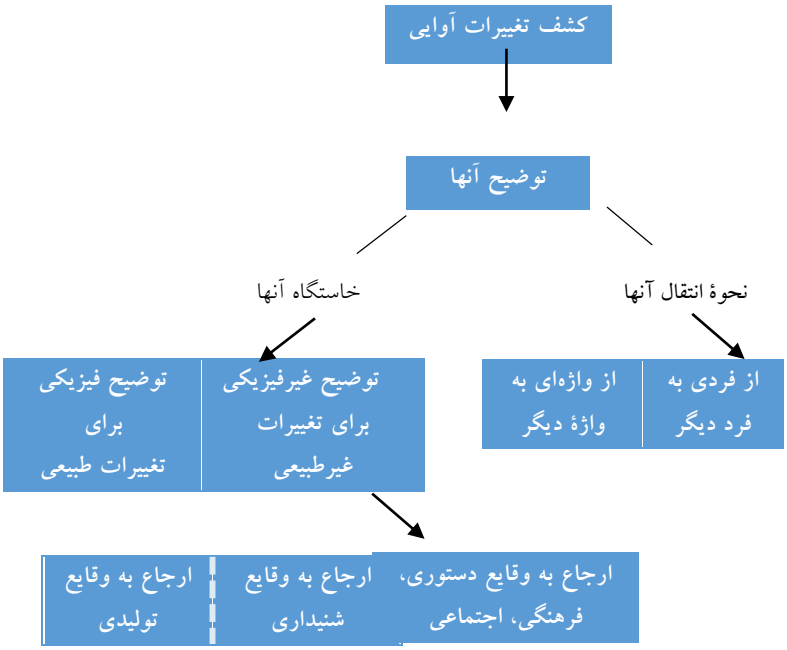
	فارسی امروز	ایرانی باستان	هندواروپایی
انجیر	anǰir	ana-√čiθ-ra-	*√**k**eit-lo-
پنج	panǰ	√panč-a-	*√pen**k** -̯
آواز	avaz	√vāč-a- -ā	-̯*√ue**k**
اندازه	andaze	ham-√tāč-aka-	-*√ta**k**
روز	ruz	-√rauča	*√leu**k**-
گریز	goriz	√raiča--wi	-̯*u̯i-√lei**k**

زبان بلوچی که بسیاری از ویژگی‌های آوایی/واجی ایرانی باستان را حفظ کرده‌است نیز، صورت‌هایی با آوای [č] دارد که در زبان فارسی [z] تلفظ‌می‌شوند، مانند واژه‌های /rōčan, rōč, gičin/ که در فارسی امروز به‌ترتیب، [rōzan] *روزن*، [ruz] *روز* و [gozin] *گزین* تلفظ‌می‌شوند. تبدیل [č] به [z] باید از مسیر [ǰ] یا [s] عبورکرده‌باشد. در وضعیت نخست، آوای [č] به‌دلیل واقع‌شدن در بافت میان‌واکه‌ای، نخست به همتای واک‌دار خود یعنی [ǰ] و بعد به [z] بدل‌شده‌است؛ یعنی واک‌دارشدگی پیش از تغییر جایگاه تولید صورت‌گرفته‌است. نمونه‌هایی از ایرانی باستان مانند [wī-či-nau]، [raǰ] و [bōǰ] که در فارسی امروز به‌ترتیب به [gozin/veǰin] *گزین/ وجین*، [raz] *رنگ* و [baz] *باز* تبدیل‌شده‌اند، نمایندهٔ این حالت هستند (Korn, 2005: 84-85). از سوی دیگر، آوای [č] در تبدیل به [z] می‌تواند از مسیر [s] عبورکرده‌باشد، یعنی ابتدا تغییر

جایگاه تولید و سپس، واک‌دارشدگی اتفاق افتاده‌باشد که نمونه‌هایی از این روند تاریخی در زبان فارسی دیده‌نمی‌شود.

در مقالهٔ حاضر قصدداریم در قالب واج‌شناسی آزمایشگاهی[1] (Ohala, 1984; Pierrhumbert et al., 1996; Tams, 2018) پایه‌های صوت‌شناختی[2] تغییر همخوان /k/ به [x] و [z] را در ریشهٔ افعال فارسی بیابیم. در واج‌شناسی آزمایشگاهی می‌توان با فراهم‌کردن بافت تغییرات آوایی درزمانی در محیط آزمایشگاه، پایه‌های آوایی این تغییرات را دید و تشخیص‌داد. آزمایش در این مفهوم، پیش از این، در آثار ایسپر[3] (1925) و هدن[4] (1938) نیز موردتوجه قرارگرفته‌بود، اما واردشدن آن در انگارهٔ واج‌شناسی تاریخی اوهالا[5] (1984)، توصیف روشن‌تری از ابعاد آن به‌دست‌داده‌است:

شکل ۱. انگارهٔ واج‌شناسی تاریخی (Ohala, 1984: 335)



1. Laboratory Phonology
2. acoustic
3. Esper, E. A.
4. Haden, E. F.
5. Ohala, J. J.

نخستین گام در این انگاره، کشف تغییرات آوایی و دسته‌بندی آنهاست. سپس، نوبت به توضیح چگونگی این تغییرات می‌رسد؛ این که خاستگاه آنها چیست و چگونه در گذر زمان منتقل‌شده‌اند. بخشی از تغییرات آوایی، مانند تصحیح‌های افراطی[1]، تلفظ‌های متنوع سبکی، تعمیم‌های قیاسی[2] الگوهای دستوری و نظایر آنها، به‌طور غیرطبیعی رخ‌می‌دهند و به یک زبان و یا به مقطع خاصی از زمان تعلق‌دارند. این تغییرات در قلمروی احتمالات و عوامل غیرقابل‌پیش‌بینی می‌گنجند، اما بخش دیگری از تغییرات آوایی پایهٔ فیزیکی دارند. تغییرات آوایی طبیعی در زبان‌های بی‌شماری قابل‌مشاهده‌اند که ممکن است به‌لحاظ رده‌شناختی، زمانی و جغرافیایی از هم فاصله داشته‌باشند. این تغییرات با محدودیت[3]های جهانی در نظام تولید و ادراک گفتار مشترک میان انسان‌ها مرتبط هستند و برای توصیف آنها به شواهدی از نحوهٔ تولید و ادراک نیاز است. چنین عواملی قابل‌احیا و بررسی در محیط‌های آزمایشگاهی هستند (Ohala, 1984; 1989) و واج‌شناسی آزمایشگاهی راهکارهای لازم برای دستیابی به شواهد آنها را فراهم‌کرده‌است. هدف اصلی واج‌شناسی آزمایشگاهی کم‌کردن فاصلهٔ میان آواشناسی و واج‌شناسی و پیوند روش‌های نظری مطالعهٔ گفتار با روش‌های تجربی است تا بتواند تمام جنبه‌های مؤثر در تولید، درک و اکتساب زبان را پوشش‌دهد. اگر زبان پدیده‌ای طبیعی و نظامی شناختی است، باید در خلال رویدادهای دنیای فیزیکی و در ارتباط با توانایی‌های خاص نوع بشر و نیز در ارتباط با تعامل اندام‌واره‌ها با محیط اطراف توصیف‌شود (Pierrhumbert et al., 1996: 1-8). گشوده‌شدن پنجرهٔ این فرایند علمی به‌سوی واج‌شناسی تاریخی، نقطهٔ عطفی در مطالعهٔ تغییرات درزمانی آواها و واج‌ها بوده‌است (Ohala, 1989).

۲. پیشینهٔ مطالعات

مشاهدهٔ تغییرات آوایی مشابه در زبان‌های خویشاوند و غیرخویشاوند بدین معناست که این تغییرات به‌دلایل آوایی، اعم از تولیدی، فیزیکی یا ادراکی صورت‌می‌پذیرند. در تغییر

1. hypercorrection
2. analogical generalization
3. constraint

تاریخی /k/ به [x] در بافت همخوان /t/، فرایند سایشی‌شدگی و در تغییر /k/ به [z] در بافت میان‌واکه‌ای، فرایندهای انسایشی‌شدگی، واک‌دارشدگی و تغییر جایگاه تولید رخ‌داده‌اند.

انسدادی‌های بی‌واک دمیده نسبت به انسدادی‌های بی‌واک نادمیده گرایش بیشتری به سایشی‌شدن دارند، زیرا مرحلهٔ بست آنها به‌نسبت کوتاه‌تر است. همچنین، مشخصهٔ [چاکنای گسترده[1]] در تولید انسدادی‌های دمیده نمایندهٔ همان وضعیتی است که در تولید آواهای سایشی مشاهده‌می‌شود. هر دو همخوان در توالی /kt/ بی‌واک‌اند، اما بیشترین میزان بازبودن حنجره در پایان اولین همخوان رخ‌می‌دهد و به‌تدریج، از میزان بازبودن آن تا رسیدن به نقطهٔ انسداد برای همخوان بعدی، کاسته‌می‌شود. به این دلیل که در تولید [k] چاکنای بازتر از زمان تولید [t] است، /k/ به آوایی سایشی تعبیر و در نهایت تبدیل‌می‌شود (Iverson & Salmons, 1995).

اوهالا (1983) رهش انسایشی‌شدهٔ[2] انسدادی‌های بی‌واک را قبل از واکه‌های پیشین افراشته، فرایندی طبیعی می‌داند. مجرای دهان در تولید واکه‌های افراشته نسبت به واکه‌های افتاده‌تر، بسته‌تر است و طبیعی است که عبور سریع جریان هوا از این مجرای کم‌عرض با سایش همراه باشد. کیتینگ و راهیلی[3] (1993) با کمک پرتونگاری اشعهٔ ایکس، به شباهت تولیدی و صوت‌شناختی انسدادی نرمکامی با آوای انسایشی در بافت واکه‌های پیشین پی‌برده‌اند. قلهٔ اصلی در طیف بسامدی[4]رهش همخوان‌ها، نمایندهٔ بازخوانی هوا در تولید آنها در مجرای دهان است و ارزش بسامدی[5] آن به واکهٔ بعد وابسته است. آواهای نرمکامی پیش از واکه‌های پیشین‌تر، بدنهٔ بازخوانی محدودتر و قلهٔ بسامدی بالاتری دارند. گوین[6] (1998) و چنگ[7] و همکاران (2001)، برخلاف کالابریس[8] (1965) و لی[9] (2000: 423-425)، معتقدند تبدیل [k] به [ʧ] قبل از واکه‌ها و غلت‌های پیشین با

1. spread glottis
2. affricated release
3. Keating P., & Rahili, A.
4. spectrum
5. frequential value
6. Guion, S. G.
7. Chang, S. S.
8. Calabrese, A.
9. Lee, J. K.

شباهت طیف بسامدی رهش انسدادی نرمکامی با نوفهٔ سایش آوای انسایشی لثوی ـ کامی در این بافت در ارتباط است، به‌طوری‌که قلهٔ بسامدی هر دو آوا بالاتر از قلهٔ بسامدی انسدادی‌های نرمکامی در سایر بافت‌ها و حدود ۳۵۰۰ـ۲۵۰۰ هرتز است. این شباهت صوت‌شناختی به سوءادراک شنونده منجرمی‌گردد. یافته‌های چنگ و همکاران (2001) نشان می‌دهد که تبدیل یک‌سویهٔ [ki] به [ʧi] در خانواده‌های زبانی اسلاوی[1]، هندوایرانی و بانتو[2] به همین دلیل است. به باور آنها، شنونده ممکن است توالی [ki] را به [ti] یا [ʧi] تعبیرکند، زیرا در طیف‌نگاشت[3] انفجار [k] (در مجاورت [i])، قله‌ای با بسامد میانی متراکم دیده‌می‌شود که طیف‌نگاشت [t] فاقد آن است. این مشخصهٔ ممیز می‌تواند به حدی در گفتار تضعیف‌شود که شنونده [k] را به [t] تعبیرکند. تغییر [ki] به [ʧi] نیز به دلیل ترکیب با نوفهٔ دمش[4] همخوان نرمکامی است، زیرا همخوان‌های نرمکامی به‌ویژه پیش از واکهٔ /i/، زمان آغاز واک (زاو)[5] طولانی دارند. بنابراین، نوفهٔ دمش پس از انفجار [kʰi]، به‌عنوان [ʃ] در [ʧ] تعبیرمی‌شود. گواه این امر این است که این سوءتعبیر در مورد همتای واک‌دار همخوان نرمکامی کمتر اتفاق‌می‌افتد و تبدیل [gi] به [ʤi] بسامد وقوع کمتری دارد، زیرا تولید همخوان [g] فاقد دمش بعد از انفجار است.

بت‌من[6] (2007: 203 & 213-214) کامی‌شدگی همخوان نرمکامی /k/ پیش از واکه‌ها را به میزان همپوشانی ژست‌های تولیدی همخوان و واکه به‌لحاظ زمانی، نسبت‌داده‌است. به اعتقاد او، در کامی‌شدگی کامل[7] (تبدیل /k/ به [ʧ]) نسبت به کامی‌شدگی ثانویه[8] (تبدیل /k/ به [kʲ])، آمیزش ژست‌های تولیدی میان همخوان و واکهٔ بعد (در این مورد، ژست‌های زبانی)، از زمانی زودتر آغازمی‌شود. یعنی در تبدیل به [ʧ]، تولید واکه (آغازهٔ واکه[9]) قبل از رهش، در میانهٔ گیرش [k] آغازمی‌شود و در تبدیل به

1. Slavic
2. Bantu
3. spectrogram
4. aspiration noise
5. Voice Onset Time (VOT)
6. Bateman, N.
7. complete palatalization
8. secondary palatalization
9. vowel onset

[kʲ]، شروع واکه همزمان با رهش همخوان است. زیگیس[1] و همکاران (2008) نیز با بررسی ویژگی‌های صوت‌شناختی زاو، قلهٔ طیف‌نگاشتی انفجار، گذر سازه‌ای[2] و شدت رهش انفجار در توالی /kV/ به این نتیجه رسیده‌اند که دمیدگی همخوان نرمکامی [kʰ] در زبان آلمانی عامل اصلی ادراک آن به‌صورت [ʧ] قبل از آواهای [i, ɛ, j] است، اما نرم‌شدگی گونهٔ نادمیدهٔ آن که در سایر زبان‌ها نه‌تنها در بافت آواهای پیشین، بلکه قبل از واکه‌های افتاده و مرکزی و نیز در جایگاه پایان واژه رخ‌می‌دهد، به شدت رهش انفجار [c] تولیدشده در میانهٔ مسیر تغییر و محدودهٔ بسامد سازه‌ای در آن شرایط جایگاهی و بافتی خاص مربوط است. رکاسنس و اسپینوزا[3] (2003) و رکاسنس (2011) نیز معتقدند تبدیل [k] به [ʧ] در زبان‌های رومیایی[4] از مسیر تولید [c] عبورمی‌کند که جایگاه تولید آن بسته به سبک گویشور، بافت واکه‌ای، جایگاه همخوان در واژه و نیز ویژگی‌های نوایی متفاوت است. تولید [c] با افزایش میزان تماس زبان با پیشکام و هم‌پوشانی زمانی و مکانی ژست‌های تولیدی و تقویت آنها همراه است، اما شدت انفجار رهش این واجگونهٔ کامی یا رهش سایشی طولانی‌تر آن قبل از /i, e, j/ و حتی قبل از واکهٔ /a/ و یا در پایان واژه قبل از هر واکه‌ای دیگر، منجر به ادراک آن به‌صورت [ʧ] می‌شود که ممکن است در ادامهٔ مسیر، به گونه‌های سایشی [ç]، [ʃ] یا [s] ساده شود. واکه‌های افتاده امکان تماس وسیع‌تر بخش میانی بدنهٔ زبان با کام را در تولید [c] فراهم‌می‌آورند. در نتیجه، دیرش نسبتاً طولانی انفجار آن و نیز گذر سازه‌ای طولانی آن در طی فاصلهٔ قابل‌توجه بدنهٔ زبان برای رسیدن به واکهٔ افتاده، باعث ادراک آن به آوایی انسایشی می‌شود. بی‌واک بودن همخوان انسدادی اولیه توجیه دیگری برای بالابودن حجم و سطح فشار جریان هوا در مرحلهٔ رهش آن است. به‌همین‌دلیل، در زبان‌های دنیا، انسایشی‌شدگی انسدادی‌های واک‌دار نسبت به همتای بی‌واک آنها، بسامد وقوع کمتری دارد. رکاسنس (2011) همچنین به این نکته اشاره‌کرده‌است که جایگاه تکیه بر کامی‌شدن و تضعیف /k/ مؤثر است. این آوای انسدادی در جایگاه‌های تکیه‌بر جایگاه تولید پیشین‌تر، سطح تماس وسیع‌تر و انفجار شدیدتری دارد (به‌ویژه در تولید آوای انسدادی کامی [c] در مجاورت

1. Zigis, M.
2. formant transition
3. Recasens, D., & Espinosa, A.
4. Romance

واکهٔ /a/). در نتیجه، امکان انسایشی‌شدگی آن در این جایگاه بیشتر است. سایشی‌شدگی آوای انسایشی نیز با تغییر در ویژگی‌های صوت‌شناختی آن همراه است. از مهم‌ترین این تغییرات می‌توان به کاهش دیرش بست و شیب دامنهٔ سایش[1] و در مقابل، افزایش دیرش سایش و زمان رسیدن به میزان بیشینهٔ آن[2] اشاره‌کرد (Repp et al., 1978; Dorman et al., 1980).

ظهور آوای [ʧ] و امکان تبدیل آن به [s] در جایگاه تکیه‌بر در زبان‌های رومیایی مشابه پیش‌بینی ما در مورد زبان فارسی است، با این تفاوت که واک‌دار بودن برون‌داد نهایی فرایند تضعیف در آن زبان‌ها، به‌دلیل اشتقاق آن از همخوان انسدادی واک‌دار [g] اولیه است، درحالی‌که فرضیهٔ ما برای واک‌دار شدن آوای سایشی مشتق از [k] در ساخت فعل‌های زبان فارسی، قرارگیری و واک‌دارشدگی آن در بافت میان‌واکه‌ای و در جایگاه تکیه‌بر است. افزون‌براین، در فارسی امروزی نیز همخوان‌های انسدادی بی‌واک، از جمله /k/، در تمام بافت‌ها به درجات مختلف دمیده‌اند (حق‌شناس، ۱۳۷۶: ۱۱۰؛ ثمره، ۱۳۷۸: ۲۶ و ۳۸ـ۴۸) و تنها در بافت آواهای سایشی بی‌واک، از میزان دمیدگی آنها کاسته‌می‌شود (بی‌جن‌خان، ۱۳۷۴: ۹۳؛ مدرسی قوامی، ۱۳۸۶؛ صادقی، ۱۳۸۶). برای اطمینان از صحت پیش‌بینی‌ها و سنجش فرضیه‌های خود در مورد زبان فارسی، بررسی آزمایشگاهی داده‌های این زبان و سرنخ‌های صوت‌شناختی تغییرات رخ‌داده در آنها لازم است. در دو بخش بعد، به نحوهٔ گردآوری و اندازه‌گیری داده‌ها و تحلیل صوت‌شناختی آنها می‌پردازیم.

۳. روش پژوهش

به‌منظور مقایسهٔ ویژگی‌های همخوان انسدادی بدنه‌ای با خصوصیات آواهای انسایشی و سایشی، صورت‌هایی از زبان فارسی معیار امروز انتخاب‌شدند که در آنها، همخوان‌های مذکور در بافتی مشابه با بافت موجود در فعل‌های ایرانی باستان قراردارند؛ در هجای تکیه‌بر، در بافت /V—aC/ و /V—t/. همچنین، برای مقایسهٔ ویژگی‌های همخوان انسدادی بدنه‌ای بی‌واک، این همخوان‌ها قبل از واکه‌های پیشین /e, a/ در هجای فاقد تکیه و نیز پیش از واکه‌های پسین /o, ɑ/ مورد توجه قرارگرفتند. واکهٔ سازندهٔ ستاک حال در این

1. amplitude rise slope
2. rise time

دسته از فعل‌های ایرانی باستان، واکهٔ /a/ بوده‌است که با قرارگیری در پایان ریشه، ستاک فعلی می‌ساخته‌است، اما در زبان فارسی معیار امروز، این واکه تنها در پایان دو واژهٔ «وَ» /va/ و «نه» /na/ قرار دارد و در داده‌های مورد بررسی ما، واکهٔ /a/ در هجای بسته واقع‌شده‌است. همچنین، در ریشهٔ هندواروپایی برخی از واژه‌های ایرانی باستان (مثال ۳)، همخوان انسدادی بدنه‌ای بی‌واک پیش از واکهٔ /e/ ظاهرشده‌است. این امکان وجوددارد که انسایشی‌شدگی این همخوان پیش از تبدیل /e/ به /a/ رخ‌داده‌باشد. انتخاب بافت /V—e/ به‌منظور بررسی این امکان صورت‌گرفته‌است. صورت‌های موردبررسی این پژوهش در جدول (۱) فهرست شده‌اند:

جدول ۱. داده‌های مورد بررسی پژوهش

/—C/		/—a/, /—ɑ/		/—e/, /—o/	
پاک‌تر	/pɑc.taɹ/	پکر	/pa.cáɹ/	واکه	/vɑ.cé/
باختر	/bɑχ.taɹ/	کچل	/ca.ʧál/	پاچه	/pɑ.ʧé/
مسکن	/mas.can/	عسل	/ʔa.sál/	ماسه	/mɑ.sé/
مشکل	/moʃ.cel/	بشر	/ba.ʃáɹ/	لاشه	/lɑ.ʃé/
		نکره	/na.ca.ɹé/	باکری	/bɑ.ce.ɹí/
		کسبه	/ca.sa.bé/	ناصری	/nɑ.se.ɹí/
		حشره	/ha.ʃa.ɹé/	کاشفی	/kɑ.ʃe.fí/
		عطسه‌ام	/ʔat.sam/	عطسه	/ʔat.sé/
		(گرفت) پرت شم	/paɹt.ʃam/	پرت شه	/paɹt.ʃe/
		مکان	/ma.kán/	راکن	/ɹɑ.kón/

واژه‌های جدول (۱) در اختیار دو گویشور مرد زبان فارسی معیار قرار گرفتند و از آنها خواسته شد تا هر یک از آنها را دو بار بخوانند؛ یک‌بار در جملهٔ حامل «کلمهٔ ... را بخوانید» و بار دیگر، خارج از آن. خوانش‌ها مستقیماً توسط نرم‌افزار پرت[1] نسخهٔ ۵/۳/۶۳

1. Praat

(Boersma &Weenink, 2011) ضبط‌شد و طیف‌نگاشت و موج صوتی[1] ثبت‌شدهٔ آنها موردبررسی قرارگرفت. پس از محاسبهٔ میانگین پارامترهای صوت‌شناختی موردنظر (پیوست ۱)، معناداری/ عدم‌معناداری اختلاف میانگین آنها با استفاده از آزمون تی نمونه‌های مستقل[2] با نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس[3] (2016) نسخهٔ ۲۴ تعیین‌شد. مطابق این آزمون، اگر $p\leq$ ۰/۰۵ باشد، اختلاف میانگین دو نمونه به‌لحاظ آماری معنادار است (پیوست ۲). جزئیات تحلیل‌های صوت‌شناختی در بخش بعد آمده‌است.

٤. یافته‌ها

در بخش‌های (۱) و (۲)، پیشین‌تر بودن جایگاه تولید همخوان انسدادی، افزایش میزان دمش و شدت انفجار رهش به‌عنوان شواهد آوایی تضعیف همخوان انسدادی به گونهٔ انسایشی آن در بافت قبل از واکه‌های پیشین معرفی‌شدند که این شواهد به‌ویژه در جایگاه تکیه‌بر واژه خودنمایی‌می‌کنند. همچنین، دریافتیم کاهش دیرش بست و شیب دامنهٔ سایش و در مقابل، افزایش دیرش سایش و زمان رسیدن به میزان بیشینهٔ آن از سرنخ‌های صوت‌شناختی سایشی‌شدگی آواهای انسدادی یا انسایشی هستند. در این بخش، به بررسی این شواهد در داده‌های گردآوری‌شده می‌پردازیم.

٤ـ۱. پیشین‌شدگی در بافت واکه‌های پیشین

اولین تغییر در مسیر تضعیف همخوان انسدادی /k/ به [ʧ] و سپس به [z]، پیشین‌شدن جایگاه تولید آن است. در فارسی امروز، آوای نرمکامی [k] پیش از واکه‌های پسین، واجگونهٔ همخوان انسدادی بدنه‌ای کامی /c/ است (ثمره، ۱۳۷۸: ۴۱؛ کرد زعفرانلو کامبوزیا: ۱۳۹۲: ۱۸۰؛ اشرف‌زاده و نوربخش: ۱۳۹۳؛ عظیمی، ۱۳۹۴: ۱۰۵). بنابراین، انتظار داریم در بافت پیش از واکه‌های /a, e/ با گونهٔ پیشین این همخوان مواجه‌شویم. مرکز تجمع انرژی در انفجار رهش[4] همخوان، یکی از سرنخ‌های صوت‌شناختی جایگاه تولید همخوان‌های انسدادی است (Reetz & Jongman, 2009: 192-193). برای

1. wave form
2. Independent-Samples T-Test
3. Statistical Package for the Social Sciences/ Statistical Product and Service Solutions (SPSS)
4. center of gravity

به‌دست‌آوردن مرکز تجمع انرژی در نرم‌افزار پرت، پس از انتخاب محدودهٔ موردنظر (در اینجا، قطعهٔ انفجار رهش)، نخست قطعهٔ بسامدی[1] آن را از مسیر Spectrum (Edit Window) > View Spectral Slice استخراج‌می‌کنیم. سپس، از مسیر Spectral Slice (Object Window) > Query > Get Center of Gravity بسامد مرکز تجمع انرژی را در طیف بسامدی قطعهٔ رهش همخوان به‌دست‌می‌آوریم (Styler, 2017: 26 & 30).

میانگین به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری‌ها نشان‌می‌دهد که مرکز تجمع انرژی در طیف بسامدی قطعهٔ رهش همخوان انسدادی در هجاهای تکیه‌بر و پیش از واکه‌های /e, a/ بسامد بالاتری دارد تا در هجاهای فاقد تکیه و یا پیش از واکه‌های /o, ɑ/، اما این برتری فقط به‌لحاظ جایگاه واکه و نه از نظر تکیه‌بر بودن آن معنادار است. مرکز تجمع انرژی در نوفهٔ سایش [ʧ] پیش از واکه‌های /é/ و /á/، از میزان آن در قطعهٔ رهش [c] در همان بافت‌ها بیشتر است و این تفاوت در بافت واکهٔ /a/ معنادار است. طبق مشاهدات بی‌جن‌خان (۱۳۹۲: ۳۲۰ـ۳۲۲)، انسایشی‌های زبان فارسی دو مرکز تجمع انرژی در بسامدهای ۲۷۰۰ـ۳۲۰۰ و ۴۳۰۰ـ۵۰۰۰ هرتز دارند. یافته‌های ما در مورد همخوان [ʧ] نشان‌می‌دهد که بسامد مرکز اول تجمع انرژی این آوا در بافت واکه‌های پیشین، به مرکز تجمع انرژی در قطعهٔ رهش آوای [c] نزدیک است، گرچه به‌طورکلی، بسامد مرکز تجمع انرژی در همخوان‌های انسدادی پیشین‌تر، بالاتر است: [k] < [c] < [ʧ] (پیوست ۱).

میانگین شدت انرژی رهش همخوان انسدادی نیز پس از به‌دست‌آوردن قطعهٔ بسامدی آن (روش بالا)، از مسیر زیر تعیین‌می‌شود (Styler, 2017: 25):

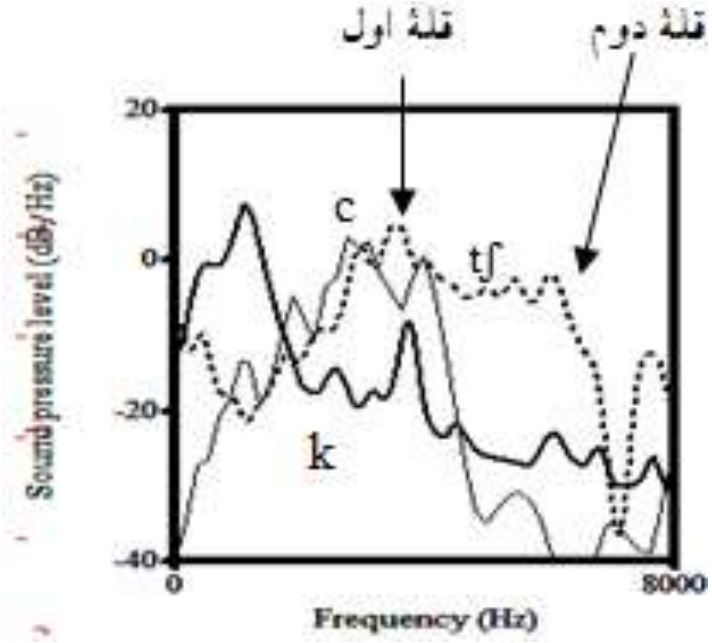
Spectral Slice (Object Window) > Sound > To Sound > To Intensity > Query > Get mean…

میانگین شدت انرژی در رهش همخوان، در هجاهای تکیه‌بر [cé] و [cá] به‌طور غیرمعنادار، بیش از مقدار آن در همتاهای بی‌تکیهٔ آنهاست. میانگین این پارامتر در گونه‌های پسین همخوان انسدادی بیشتر از گونه‌های پیشین آن است، اما این تفاوت تنها در مقایسهٔ [cá]/[ká] معنادار است. شدت نوفهٔ سایش [ʧ] نیز پیش از واکه‌های [é] و [á]

1. spectral slice

تفاوت معناداری با میزان آن در قطعهٔ رهش [c] در همان بافت‌ها دارد و از آن بیشتر است. البته این تفاوت در بافت [á] بارزتر است. بنابراین، قطعهٔ رهش انسدادی‌های پیشین مرکز تجمع انرژی بالاتر، اما شدت پایین‌تری (به‌ویژه در مجاورت [á]) نسبت به گونه‌های پسین آنها دارد و در این تفاوت‌ها، جایگاه واکه نسبت به تکیه‌بر بودن آن، نقش مهم‌تری دارد. نوفهٔ [ʧ] نیز از لحاظ این دو پارامتر، در بافت [é] شباهت بیشتری با [c] دارد تا در مجاورت [á]. شکل (۲) بسامد تمرکز انرژی و شدت آن را در طیف بسامدی قطعهٔ رهش [c] و [k] و نیز در نوفهٔ [ʧ] نشان‌می‌دهد:

شکل ۲: طیف بسامدی قطعهٔ رهش [c] (خط نازک) و [k] (خط ضخیم) و نوفهٔ [ʧ] (خط‌چین) در بافت میان‌واکه‌ای پیش از واکهٔ [á]



همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است، شدت و مرکز تجمع انرژی در قطعهٔ رهش [c] بالاتر از مقادیر آنها در رهش [k] و پایین‌تر از میزان آنها در نوفهٔ [ʧ] است، اما قلهٔ اول [ʧ] بسامد و شدتی نزدیک به بسامد و شدت مرکز تجمع آن در رهش [c] دارد.

٤ـ۲. انسایشی‌شدگی در بافت واکه‌های پیشین

تغییر دیگری که در جریان تضعیف همخوان انسدادی بدنه‌ای بی‌واک رخ‌داده‌است، تغییر در شیوهٔ تولید آن است. این بخش را به مقایسهٔ پارامترهای صوت‌شناختی مربوط به شیوهٔ تولید آواهای انسدادی و انسایشی اختصاص‌می‌دهیم. طیف‌نگاشت‌های همخوان‌های انسدادی و انسایشی به‌طور مشابه، شامل وقفهٔ انسداد و نوفهٔ پس از رهش آنهاست. تفاوت میان این دو طیف‌نگاشت این است که رهش همخوان انسدادی ناگهانی و کوتاه است، درحالی‌که رهش همخوان انسایشی تدریجی و طولانی است. افزون‌براین، قطعهٔ پس از بست در همخوان انسدادی بی‌واک، علاوه بر رهش انفجار، شامل نوفهٔ دمش است (Catford, 2001: 56؛ مدرسی قوامی، ۱۳۹۰: ۱۴۰ و ۱۴۷). در داده‌های ما، میانگین دیرش بست آوای انسدادی پیش از واکه‌های پسین به‌طور غیرمعنادار بیشتر از مقدار آن قبل از واکه‌های پیشین است. افزون‌براین، مرحلهٔ بست [c] در هجاهای تکیه‌بر و نیز در مقایسه با مرحلهٔ بست [ʧ] طولانی‌تر است، اما این تفاوت‌ها نیز معنادار نیستند. نکتهٔ دیگر این است که مقادیر دیرش بست [c] و [ʧ] در بافت [á] به یکدیگر نزدیک‌ترند تا در بافت [é]. بدین‌ترتیب، در داده‌های ما، میانگین دیرش بست [c] و [ʧ] در هجاهای تکیه‌بر پیش از واکه‌های پیشین تفاوت معناداری با یکدیگر ندارند.

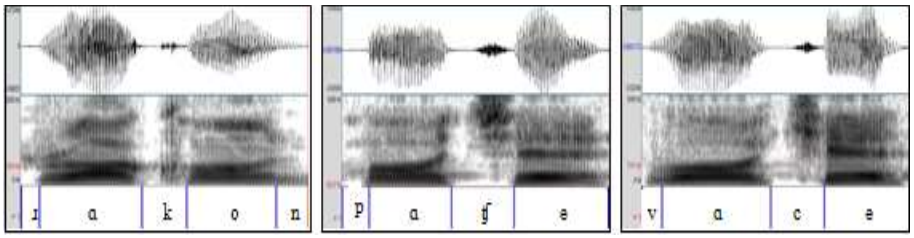
دیرش رهش آواهای انسدادی در بافت واکه‌های پیشین و نیز در هجاهای تکیه‌بر، طولانی‌تر از مقدار آن در بافت همتاهای پسین و بی‌تکیه است و این تفاوت‌ها تنها در حالت دوم معنادار هستند. همچنین، رهش آواهای انسدادی، بسیار کوتاه‌تر از دیرش نوفهٔ آوای انسایشی است، اما مجموع آن با نوفهٔ دمش را می‌توان با نوفهٔ آوای انسایشی مقایسه نمود. در تحلیل‌ها، مجموع رهش و دمش همخوان انسدادی را 'نوفه' نامیده‌ایم که به قطعهٔ پس از بست این همخوان اشاره دارد و در واقع، معادل زاو است. دیرش نوفهٔ [c] در بافت هر دو واکهٔ پیشین در هجای تکیه‌بر، طولانی‌تر است تا در هجای بی‌تکیه و این تفاوت به‌لحاظ آماری، به‌ویژه در بافت واکهٔ [a]، معنادار است. تفاوت دیرش نوفهٔ [c] در مقایسه با دیرش نوفهٔ [k] معنادار نیست، اگرچه میانگین آن در حالت اول بیشتر است. دیرش نوفهٔ [ʧ] در بافت واکه‌های پیشین نیز طولانی‌تر از دیرش آن در آوای [c] است (مطابق نظر نوربخش، ۱۳۸۸: ۱۵۹ـ۱۶۱)، اما این اختلاف نیز معنادار نیست، به‌ویژه در بافت واکهٔ [a].

به‌طورکلی، آنچه برای دیرش نوفه بیان شد، برای مقادیر زاو نیز صادق است. تنها راه پی‌بردن به تفاوت‌های مقادیر زاو در همخوان‌های انسدادی، توجه به میزان دمش آنهاست. مطابق جدول‌های پیوست، تفاوت معنادار مقدار زاو در هجاهای تکیه‌بر، به‌دلیل طولانی‌تر بودن دمش همخوان انسدادی در آن هجاهاست. دمش همخوان‌های انسدادی در بافت واکه‌های پیشین نیز تا حد معناداری بالاتر از میزان آن در بافت واکه‌های پسین است. چو و لدی‌فوگد[1] (۱۹۹۹: ۲۱۱ـ۲۱۳) معتقدند جایگاه و وسعت سطح گرفتگی همخوان و نیز سرعت حرکت اندام‌های گفتار در مقادیر زاو دخیل هستند. جایگاه تولید پسین‌تر [k] و حرکت کندتر بدنهٔ زبان در ایجاد اختلاف فشار چاکنایی لازم برای واک‌سازی، دلیل بیشتر بودن زاو آن نسبت به همخوان‌های لثوی و لبی است. این میزان برای [c]، به‌علت سطح گرفتگی وسیع‌تر، بیشتر از [k] است. نکتهٔ قابل‌توجه دیگر تأثیر تکیه بر افزایش میزان زاو و دمش در داده‌های موردبررسی ماست. ثمره (۱۳۷۸: ۲۶ و ۳۸ـ۴۸)، صادقی (۱۳۸۶) و نوربخش (۱۳۸۸: ۱۴۲) نیز میزان دمیدگی و زاو انسدادی‌های بی‌واک زبان فارسی را در هجای تکیه‌بر بیشتر از هجای بی‌تکیه دانسته‌اند.

نوفهٔ انسایشی‌ها علاوه بر اطلاعات مربوط به زمان آغاز واک، ویژگی‌های صوت شناختی دیگری نیز دارد که آن را از یک‌سو با آواهای انسدادی و از سوی دیگر با آواهای سایشی قابل‌مقایسه می‌سازد. محدودهٔ بسامدی (بسامد آغازی و پایانی) نوفه، مرکز تجمع انرژی و شدت آن در کنار دیرش و شیب افزایش دامنهٔ نوفه از جملهٔ این ویژگی‌ها هستند. در این مبحث، به بررسی این مؤلفه‌ها در همخوان‌های انسایشی و انسدادی می‌پردازیم و مقایسهٔ آنها با آواهای سایشی در بافت میان‌واکه‌ای را به بخش بعد موکول‌می‌کنیم. نوفهٔ انسایشی‌ها و انسدادی‌های پیشین نسبت به انسدادی‌های پسین متراکم‌تر است و آغاز آن نیز در بسامدهای بالاتری مشاهده‌می‌شود. شکل (۳) این تفاوت را نشان‌می‌دهد:

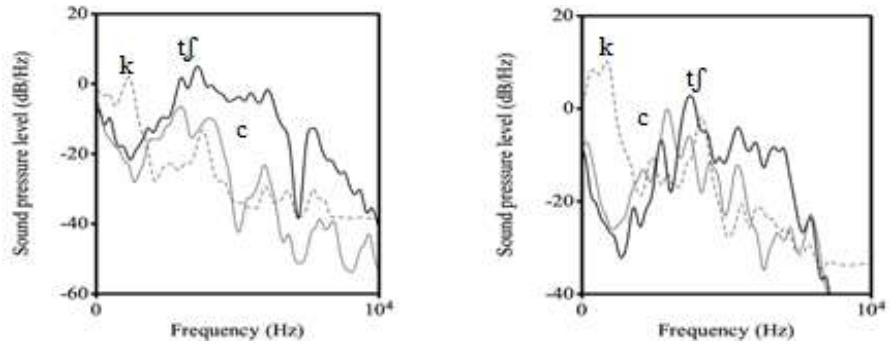
شکل ۳. شکل موجی و طیف‌نگاشت نوفهٔ [c]، [k] و [ʧ]

1. Cho, T., & Ladefoged, P.



اختلاف میانگین بسامد آغاز نوفهٔ [c] در بافت هر دو واکهٔ پیشین، نسبت به مقدار آن در [k] در بافت هر دو واکهٔ پسین بسیار معنادار است، اما نسبت به [ʧ] این‌گونه نیست. تکیه‌بربودن هجا نیز تنها در بافت واکهٔ [a] باعث اختلاف معنادار شده‌است. بسامد پایان نوفهٔ [c] در بافت [e] در هجای تکیه‌بر و در مقایسه با آوای [ʧ] کمتر و در مقایسه با [k] در بافت [ó] بیشتر است، اما هیچ‌یک از این تفاوت‌ها معنادار نیستند. این مقدار برای [c] در هجای تکیه‌بر و نیز در مقایسه با [k] در بافت [á] بیشتر و در مقایسه با [ʧ] کمتر است، اما این بار این تفاوت‌ها معنادار هستند. بدین‌ترتیب، تأثیر تکیه در افزایش بسامد آغاز و پایان نوفهٔ [c]، تنها در بافت [a] مشهود است و آوای [ʧ] تنها به‌لحاظ بسامد پایان نوفه در همان بافت، با آوای [c] متفاوت است. شکل (۴) طیف بسامدی نوفهٔ [c]، [k] و [ʧ] را در بافت واکه‌های [é] و [á] نشان‌می‌دهد:

شکل ٤. طیف بسامدی نوفهٔ [c] (خط نازک)، [ʧ] (خط ضخیم) و [k] (خط‌چین) پیش از واکه‌های [é, ó] (شکل راست) و [á, ú] (شکل چپ)



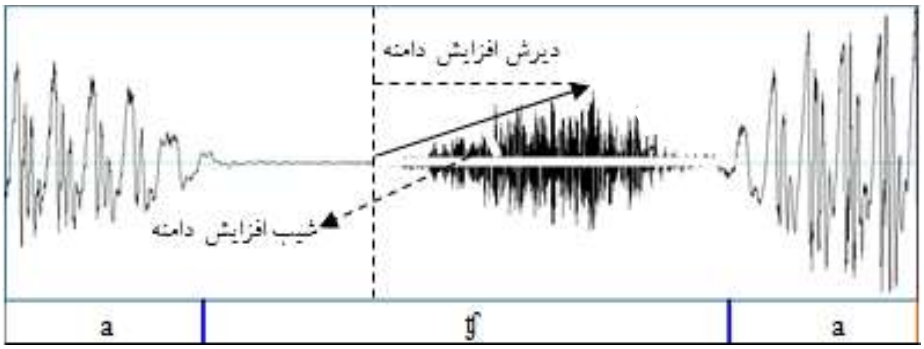
مقایسهٔ طیف‌های بسامدی در شکل ۴ نشان‌می‌دهد که بسامد آغاز نوفهٔ [c] و [ʧ] در بافت هر دو واکهٔ پیشین به هم نزدیک‌اند، اما با مقدار آن در [k] در بافت هر دو واکهٔ پسین، اختلاف‌دارد. بسامد پایان نوفهٔ [c]، [ʧ] و [k] نیز در بافت واکه‌های میانی به یکدیگر شبیه‌است.

پیش از این، در بخش ۴ـ۱ مرکز تجمع انرژی و شدت نوفهٔ آوای انسایشی را با مقادیر آنها در قطعهٔ رهش همخوان انسدادی مقایسه‌کردیم. در اینجا، به مقایسهٔ آنها با مقادیر مربوط به کل نوفهٔ همخوان انسدادی (قطعهٔ پس از وقفهٔ انسداد) می‌پردازیم. مرکز تجمع انرژی نوفهٔ [c] نسبت به میزان آن در نوفهٔ [ʧ] در بافت هر دو واکهٔ [a] و [e]، به مقدار معناداری کمتر و نسبت به میزان آن در [k] در بافت هر دو واکهٔ [ɑ] و [o] به‌طرز معناداری بیشتر است. تکیه‌بر بودن هجا تأثیر معناداری بر افزایش بسامد مرکز تجمع انرژی نوفهٔ [c] در بافت هیچ‌یک از واکه‌های [a] و [e] ندارد، اگرچه میزان این بسامد به‌طورکلی در هجای تکیه‌بر [cá] بیشتر است. شدت نوفهٔ [c] نسبت به میزان آن در نوفهٔ [ʧ] در بافت هر دو واکهٔ پیشین کمتر (به‌ویژه در بافت [a]) و نسبت به میزان آن در [k]، در مجاورت هر دو واکهٔ پسین (به‌ویژه در بافت [ɑ])، بیشتر است، اما این تفاوت‌ها معنادار نیستند؛ درست برعکس آنچه در هجاهای تکیه‌بر مشاهده‌می‌شود. با توجه به یافته‌های فوق، بسامد مرکز تجمع انرژی در نوفهٔ آواهای [c] و [ʧ] متفاوت است (در [ʧ] بالاتر است)، اما میزان شدت آنها در این آواها به یکدیگر نزدیک است و در این رابطه، تکیه مؤثر است.

دیرش و شیب افزایش دامنهٔ نوفه دو سرنخ صوت‌شناختی دیگر در تمایز نحوهٔ تولید همخوان‌های انسایشی از همتاهای سایشی آنها هستند (Dorman et al., 1980)، اما به این دلیل که یافته‌های ما تا کنون شباهت‌هایی را میان سایر ویژگی‌های همخوان‌های انسایشی و انسدادی نشان‌داده‌اند، این دو سرنخ را نیز در مقایسهٔ آنها مورد توجه قرارمی‌دهیم. دیرش افزایش دامنهٔ نوفه مدت زمانی است که طی آن شدت نوفه به بیشینهٔ خود می‌رسد. اگرچه میانگین این دیرش در آوای [ʧ] بیشتر از مقادیر آن در آوای [c] است، اما این تفاوت معنادار نیست، به‌ویژه در بافت واکهٔ [a]. همچنین، طولانی‌تربودن مدت این دیرش در آوای [c] نسبت به آوای [k] و در هجاهای تکیه‌بر نسبت به هجاهای بی‌تکیه بی‌معناست. منظور از شیب افزایش دامنه، سرعت رسیدن دامنهٔ نوسان نوفه به بیشترین مقدار آن است. این مقدار از تقسیم مقدار بیشینهٔ شدت نوفه بر مدت‌زمان رسیدن

آن به این مقدار بیشینه به‌دست‌می‌آید و واحد اندازه‌گیری آن پاسکال/ثانیه[1] است (بی‌جن خان، ۱۳۹۲: ۳۱۳). طبق یافته‌های ما، جایگاه واکه و تکیه‌بربودن هجا تأثیر معناداری بر مقدار شیب افزایش دامنه ندارد، گرچه میزان آن برای [c] در هجای بی‌تکیهٔ [ce] اندکی بیشتر از آن در همتای تکیه‌بر آن است. شیب افزایش دامنهٔ نوفهٔ [c] نسبت به میزان آن در [ʧ] به‌ویژه در بافت [e] اندکی بیشتر است، اما این برتری معنادار نیست. بدین‌ترتیب، مقادیر دیرش و شیب افزایش دامنهٔ [c] و [ʧ] به یکدیگر نزدیک‌اند. شکل (۵) شیوهٔ محاسبهٔ این دو پارامتر را نشان‌می‌دهد:

شکل ۵. شیوهٔ محاسبهٔ دیرش و شیب افزایش دامنه در انسایشی بی‌واک [ʧ] در زنجیرهٔ /caʧal/



همان‌طور که در بخش ۴ـ۱ به آن اشاره‌شد، به گفتهٔ بی‌جن‌خان (۱۳۹۲: ۳۲۰ـ۳۲۲)، دومین مرکز تجمع انرژی انسایشی‌های زبان فارسی قله‌ای در بسامدهای ۴۳۰۰ـ۵۰۰۰ هرتز دارد. این مرکز تجمع را به‌اختصار قلهٔ دوم می‌نامیم و مقادیر آن را در نوفهٔ آواهای انسدادی نیز بررسی‌می‌کنیم (ر.ک. شکل‌های (۲) و (۸)). بسامد قلهٔ دوم نوفهٔ [c] با تفاوت غیرمعنادار، به‌ویژه در بافت [á]، از میزان آن در نوفهٔ [ʧ] پایین‌تر است. بسامد این قلهٔ [c] همچنین در هجای تکیه‌بر (به‌خصوص در مجاورت [á])، بالاتر از هجای بی‌تکیه و نیز بالاتر از مقدار آن در نوفهٔ [k] (به‌خصوص در مجاورت [ó]) است، اما این تفاوت‌ها معنادار نیستند. شدت این قله نیز در نوفهٔ [ʧ]، بالاتر از میزان آن در قلهٔ [c] است و این تفاوت در مجاورت [á] معنادار است (p= ۰/۰۴ :[cá]/ [ʧá]) و تنها در یک مورد از

1. Pascal/Second

تکرارها، شدت این دو به یکدیگر نزدیک شده‌است. قلهٔ دوم [c] در هجای تکیه‌بر [cá] شدت بالاتر و در هجای تکیه‌بر [cé]، شدت پایین‌تری نسبت به همتاهای بی‌تکیهٔ خود دارد. این تفاوت در حالت دوم فاقد معناست. همچنین، میزان این شدت پیش از واکه‌های پیشین بیشتر است و این تفاوت در مقایسهٔ [ká] /[cá] به‌طور جزئی معنادار است. از مجموع یافته‌های این بخش نتیجه‌می‌گیریم که اکثر پارامترهای صوت‌شناختی نوفهٔ [c] در بافت میان‌واکه‌ای، به‌ویژه در هجاهای تکیه‌بر، به مقادیر آنها در [ʧ] نزدیک‌اند و تفاوت معنادار میان این دو آوا مربوط به بالاتربودن بسامد پایانی و بیشتر بودن مرکز تجمع انرژی و شدت قلهٔ دوم نوفهٔ [ʧ] در مجاورت [a] است.

بی‌جن‌خان (۱۳۹۲: ۳۲۰) با مقایسهٔ آواهای سایشی و انسایشی در بافت بیناواکه‌ای، فرضیه‌ای مطرح‌کرده‌است که لازم است در اینجا مورد توجه قرارگیرد. به گفتهٔ وی، انسایشی‌های زبان فارسی دو قلهٔ انرژی با بسامدی مشابه بسامد سایشی‌های همتای خود یعنی [ʃ, ʒ] دارند، اما انرژی قلهٔ دوم آنها (۴۳۰۰ـ۵۰۰۰ هرتز) قدری بیشتر از انرژی همین قله در آواهای سایشی مذکور است. در نتیجه، جایگاه تولید انسایشی‌ها ممکن است پیشین‌تر از سایشی‌ها و به جایگاه تولید [s] و [z] نزدیک‌تر باشد. منظور بی‌جن‌خان باید تولید آواهای انسایشی [ts] و [dz] باشد که ممکن است با تضعیف بخش انسداد، به [s] و [z] تبدیل شوند. صادقی (۱۳۵۷: ۱۲۴ـ۱۲۵) در مقابل، به این نکته اشاره‌کرده‌است که تلفظ واج‌های /tš/ <چ> و /dž/ <ج> فارسی امروز در فارسی باستان به‌ترتیب، به‌صورت [ts] و [dz] بوده‌است که هنوز در مناطقی از اصفهان و خلیج فارس متداول است، اما به‌سرعت در حال ناپدیدشدن است. در ادامه، برای آزمودن این فرضیه‌ها، ویژگی‌های نوفهٔ [c] و [ʧ] را با نوفهٔ [s] و [ʃ] مقایسه‌می‌کنیم. زنجیره‌های [t.se]، [t.sa]، [t.ʃe] و [t.ʃa] توالی انسداد ـ نوفه را برای مقایسه با همین توالی در آواهای انسدادی و انسایشی فراهم‌می‌کنند. با توجه به میانگین‌ها می‌توان‌دریافت که نوفهٔ [c] پیش از هر دو واکهٔ پیشین در مقایسه با نوفه‌های [s] و [ʃ] در بافت‌های [t.se]، [t.sa]، [t.ʃe] و [t.ʃa] دیرش کمتری دارد، اما این تفاوت در بافت‌های [t.se] و [t.sa] معنادار نیست، به‌ویژه در بافت [e]. اختلاف دیرش نوفهٔ [ʧ] با [s] پس از [t] فاقد معناست، به‌ویژه در بافت [e]، اما در مقایسه با [ʃ] پس از [t] معنادار است، به‌ویژه در بافت [a]. پس، دیرش نوفهٔ [c] و به‌ویژه [ʧ] در مجاورت هر دو واکه، به‌میزان آن در نوفهٔ [s] در توالی‌های [t.se] و [t.sa] نزدیک است.

معناداری تفاوت میانگین آغاز نوفهٔ [c] در بافت هر دو واکه، نسبت به [ʃ] کمتر است تا در مقایسه با [s] و این اختلاف در رابطهٔ [t.ʃa] /[cá] فاقد معناست. بسامد آغاز نوفهٔ [s] و [ʃ] در بافت پس از [t] بیشتر از مقدار آن در نوفهٔ [ʧ] است و این تفاوت تنها در مقایسه با [ʃ] در توالی [t.ʃa] فاقد معناست. نوفهٔ [c] و [ʧ] در بسامدهایی پایین‌تر از بسامد نوفهٔ [s] و [ʃ] پایان می‌یابد و این تفاوت در موارد [t.sa] /[cá]، [t.ʃa] /[cá] و [t.se] /[ʧé] معنادار است. نتیجه این که بسامد آغاز و پایان نوفهٔ [c] و [ʧ] به مقدار آن در [ʃ] نزدیک‌تر است تا در [s].

مرکز تجمع انرژی نوفهٔ [c] در بافت هر دو واکه، بسامدی کمتر از میزان آن در آواهای سایشی دارد و این اختلاف در تمامی موارد، معنادار است. البته میزان این معناداری در مقایسه با [ʃ] اندکی کمتر است تا در مقایسه با [s]. بسامد مرکز تجمع انرژی نوفهٔ [ʧ] از میزان آن در آواهای سایشی در توالی‌های [t.se]، [t.sa] و [t.ʃe] کمتر و از مقدار آن نسبت به [ʃ] در توالی [t.ʃa] بیشتر است، اما این تفاوت [ʧ] فقط در مقایسهٔ [t.se]/[ʧé] معنادار است. می‌توان گفت که مرکز تجمع انرژی نوفهٔ [ʧ] گرایش بیشتری به سمت [ʃ] دارد، برای مثال در مقایسهٔ [t.sa]/[ʧá] با [t.ʃa] /[ʧá]. اختلاف میانگین شدت نوفهٔ [c] و [ʧ] با میزان آن در آواهای سایشی معنادار نیست، گرچه میزان این اختلاف به مقدار آن در [ʃ] در توالی [t.ʃe] نزدیک‌تر است تا به مقدار آن در [s] در زنجیرهٔ [t.se]. شدت نوفهٔ [c] و [ʧ] قبل از [á] نیز تفاوت معناداری با مقدار آن در [ʃ] و [s] ندارد، اما این بار به مقدار آن در [s] در توالی [t.sa] نزدیک‌تر است.

دیرش افزایش دامنهٔ نوفه در آواهای انسدادی و انسایشی کوتاه‌تر از دیرش آن در آواهای سایشی است، اما این تفاوت در مقایسه‌های [t.se] /[ʧé]، [t.sa] /[ʧá]، [t.ʃa] / [ʧá] و [t.se] /[cé] معنادار نیست. کمترین میزان معناداری در سایر موارد نیز مربوط به [t.sa] /[cá] است. بدین‌ترتیب، آواهای [c] و [ʧ] بیشترین شباهت را با [s] به‌لحاظ دیرش افزایش دامنهٔ نوفه در بافت پس از [t] دارند.

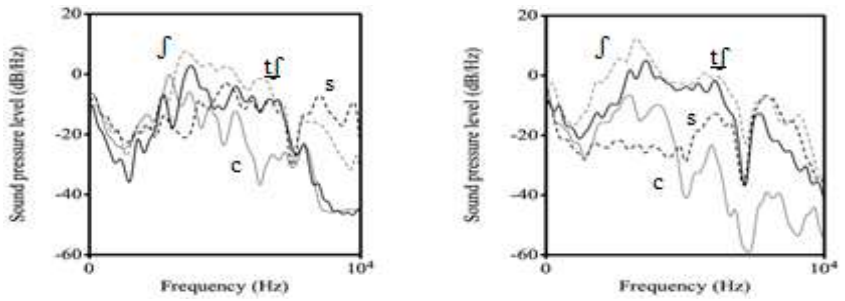
اختلاف میانگین شیب دامنهٔ نوفهٔ [c] پیش از [e] با مقدار آن در هر دو آوای سایشی، همواره معنادار است، اما این معناداری در مقایسه با [ʃ] در بافت [t.ʃe] کمتر است. این اختلاف در بافت [á] معنادار نیست، به‌ویژه در مقایسه با [ʃ] در رابطهٔ [t.ʃa] /[cá].

بالاتربودن شیب نوفهٔ [ʧ] نسبت به آواهای سایشی معنادار نیست، به‌خصوص پیش از واکهٔ [é].

دریافتیم که نوفهٔ [c] در بسامدهایی نزدیک بسامد قلهٔ دوم نوفهٔ [ʧ] نیز تمرکز انرژی دارد، اما با شدتی کمتر از آن. در اینجا، بسامد قلهٔ دوم تمرکز انرژی و شدت [c] و [ʧ] را با مقادیر آنها در آواهای سایشی در توالی‌های [t.sV] و [t.ʃV] مقایسه‌می‌کنیم. قلهٔ دوم [c] به‌طور غیرمعنادار، در بسامدهایی پایین‌تر از آن در [s] و [ʃ] متمرکز است. بسامد این قله در [ʧ] نیز تفاوت معناداری با مقدار آن در آواهای سایشی و به‌ویژه در [s] در توالی‌های مذکور ندارد. بدین‌ترتیب، بسامد قلهٔ دوم آواهای [c] و [ʧ] به‌میزان آن در [s] در بافت پس از [t] نزدیک‌تر است تا به مقدار آن در [ʃ] در همان جایگاه.

شدت قلهٔ دوم نوفهٔ [s] در بافت‌های [t.se] و [t.sa]، به‌طور معنادار، از مقدار آن در نوفهٔ [ʃ] در بافت‌های [t.ʃe] و [t.ʃa] کمتر است. این امر باعث‌شده‌است که شدت قلهٔ دوم نوفهٔ [c] به‌میزان آن در نوفهٔ [s] در توالی‌های [t.se] و [t.sa] نزدیک شود و با مقدار آن در [ʃ] تفاوت معنادار بیابد. اختلاف شدت قلهٔ دوم [ʧ] با [ʃ] در بافت [e]، معنادار و در بافت [a] فاقد معناست و این عدم معناداری در مقایسه با [s] کمتر است. در جمع‌بندی مطالب این بخش می‌توان‌گفت که نوفهٔ [ʧ] تنها به‌لحاظ دیرش افزایش دامنه، بسامد قلهٔ دوم و دیرش کل آن به آوای [s] در بافت [t.sV] نزدیک شده‌است، اما در سایر ویژگی‌ها به آوای [ʃ] در همان بافت، شبیه است. شباهت [c] با [s] نیز نه‌تنها در سه پارامتر مذکور، بلکه به‌لحاظ شدت نوفه، شیب دامنه و شدت قلهٔ دوم نوفه، به‌ویژه در بافت [a] مشاهده‌می‌شود. همچنین در مواردی که اختلاف‌ها معنادار هستند، میزان معناداری در مقایسهٔ هر دو آوا با [ʃ] در بافت پس از [t] کمتر است تا در مقایسه با [s] در همان بافت. شکل (۶) طیف بسامدی نوفهٔ [c] و [ʧ] را در مقایسه با نوفهٔ [s] و [ʃ] پس از انسداد [t] نشان‌می‌دهد:

شکل ٦. طیف بسامدی نوفهٔ [c] (خط نازک)، [ʧ] (خط ضخیم) در مقایسه با نوفهٔ [ʃ] (خط‌چین نازک) و [s] (خط‌چین ضخیم) در بافت‌های [t.-a] (شکل راست) و [t.-e]؛



شکل ۶ نشان می‌دهد که شدت نوفهٔ [s] پایین‌تر از مقدار آن در نوفهٔ [ʃ] است. نوفهٔ [c] به‌لحاظ بیشتر پارامترها به نوفهٔ [s] شباهت دارد، اما نوفهٔ [ʧ] به نوفهٔ [ʃ] شبیه است.

٤ـ۳. سایشی‌شدگی در بافت واکه‌های پیشین

همان‌طور که در مجموعه مثال‌های (۱) و (۴) مشاهده‌شد، تضعیف درزمانی همخوان [k] در بافت میان‌واکه‌ای قبل از واکه‌های پیشین، پس از انسایشی‌شدگی تا مرحلهٔ سایشی‌شدگی پیش‌رفته‌است. بر اساس یافته‌های ما تا اینجا، این همخوان در زبان فارسی معیار امروز نیز در همان بافت و به‌ویژه در هجاهای تکیه‌بر، شباهت‌های بسیاری با آوای انسایشی دارد. در بخش حاضر، امکان سایشی‌شدگی هم‌زمانی آواهای انسایشی و انسدادی را در بافت مذکور می‌سنجیم.

به گفتهٔ محمودزاده و بی‌جن‌خان (۱۳۸۹)، تقابل آوایی هخوان‌های انسایشی و سایشی در بخش انسداد آنهاست که به‌ویژه در گفتار پیوسته، به‌راحتی تضعیف می‌شود و ازبین‌می رود، در نتیجه باید بخش نوفهٔ آنها را مورد مقایسه قرارداد. بنابراین، در این بخش پارامترهای صوت‌شناختی مربوط به نوفهٔ آنها را با همان پارامترها در آواهای سایشی [ʃ, s] در بافت واکه‌های پیشین مقایسه‌می‌کنیم.

دیرش نوفهٔ [c] پیش از هر دو واکهٔ پیشین و در هر دو نوع هجای تکیه‌بر و بی‌تکیه، به‌طور معنادار، کمتر از مقدار آن در آواهای سایشی، به‌ویژه [ʃ] در مجاورت همان واکه هاست. نوفهٔ [ʧ] نیز وضعیتی مشابه دارد؛ یعنی اختلاف دیرش آن با دیرش نوفهٔ [s] و [ʃ] در تمام بافت‌ها معنادار است. بسامد آغاز نوفهٔ [c] قبل از [é] و [e]، به‌طور میانگین، پایین تر از آن در آواهای سایشی است و این تفاوت در مقایسه با [ʃ] در بافت‌های [ʃe] و [ʃé]

فاقد معناست. در اختلاف‌های معنادار با [s]، میزان معناداری این اختلاف نسبت به هجای بی‌تکیه بیشتر است. اختلاف میانگین این بسامد برای [c] در بافت [á] و [a] با مقدار آن در [s] در همان بافت‌ها معنادار است، اما در مقایسه با [ʃ] این‌طور نیست. نوفهٔ [ʧ] در مجاورت هر دو واکه از بسامدهای پایین‌تر از بسامد نوفهٔ [s] و بالاتر از نوفهٔ [ʃ] در همان بافت شروع‌می‌شود و در حالت دوم، این اختلاف معنادار نیست. نتیجه این که بسامد آغاز نوفهٔ [c] و [ʧ] به مقدار آن در [ʃ] نزدیک‌تر است تا در [s].

نوفهٔ [c] در بسامدهای پایین‌تر از بسامد نوفهٔ [s] و [ʃ] پایان‌می‌یابد، اما رفتار آن از این نظر، پیش از [é] و [e] متفاوت از زمانی است که قبل از [á] و [a] قرار دارد. در حالت اول، تفاوت بسامد پایانی آن تنها با بسامد پایانی نوفهٔ [s] معنادار است و در حالت دوم، به‌ویژه در هجای بی‌تکیه، این معناداری در مقایسه با [ʃ] نیز مشهود است، گرچه میزان آن در مقایسه با [s] بسیار بیشتر است. نوفهٔ [ʧ] نیز به‌جز پیش از [a]، در مقایسه با [ʃá]، در سایر بافت‌ها به بسامدهای پایین‌تری ختم می‌شود، اما معناداری این تفاوت تنها در موارد [sá]/ [ʧá] و [sé] /[ʧé] مشاهده‌می‌شود. می‌توان نتیجه‌گرفت که بسامد پایان نوفهٔ [c] و [ʧ] نیز، مانند بسامد آغاز آن، به مقدار آن در [ʃ] نزدیک‌تر است تا به میزان آن در [s].

مرکز تجمع انرژی نوفهٔ [c] در بافت هر دو واکه، در هر دو نوع هجا، در بسامدهای پایین‌تری نسبت به مقدار آن در هر دو آوای سایشی قراردارد، اما این تفاوت در موارد [ʃé] /[cé]، [sé] /[cé]، [ʃe] /[ce] و [ʃa]: p= ۰/۱ /[ca] معنادار نیست. البته این عدم معناداری در مقایسه با [ʃ]، به‌ویژه در هجای بی‌تکیه، بیشتر است. این بدان معناست که مرکز تجمع انرژی نوفهٔ [c] به‌طورکلی، به مقدار آن در [ʃ] نزدیک‌تر است تا در [s]. مرکز تجمع انرژی نوفهٔ [ʧ] در تمام بافت‌ها از میزان آن در [s] کمتر است، اما از مقدار آن نسبت به [ʃ] بیشتر است، باوجوداین، هیچ‌یک از این تفاوت‌ها معنادار نیستند. می‌توان گفت که مرکز تجمع انرژی نوفهٔ [ʧ] در حدفاصل مرکز تجمع انرژی نوفه‌های [s] و [ʃ] قراردارد، اما با گرایش بیشتر به سمت [ʃ]، به‌عنوان مثال در مقایسه‌های [sé] /[ʧé] و [ʃá] /[ʧá].

اختلاف میانگین شدت نوفهٔ [c] و [ʧ] با میزان آن در [s] و [ʃ] معنادار نیست، اما به درجات مختلف، به‌طوری که میانگین شدت نوفهٔ آنها قبل از هر دو واکه، به مقدار آن در

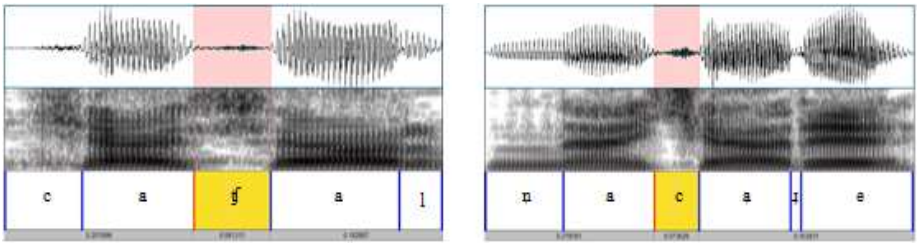
[ʃ] در توالی‌های [ʃé] و [ʃá] نزدیک‌تر است تا به مقدار آنها در [s] در توالی‌های [sá] و [sé]. وضعیت شدت نوفهٔ [c] در هجاهای بی‌تکیه، اندکی متفاوت است و اختلاف آن با شدت نوفهٔ [s] فاقد معناست، اما در مقایسه با [ʃ] معنادار است. بنابراین، شدت نوفه‌های [c] و [ʧ] در هجاهای تکیه‌بر شباهت بیشتری با مقدار آن در آواهای سایشی دارد و گرایش آن مانند مرکز تجمع انرژی آنها بیشتر به سمت [ʃ] است.

دیرش افزایش دامنهٔ نوفه در آواهای انسدادی و انسایشی کمتر از دیرش آن در آواهای سایشی به‌ویژه در [ʃ] است. این تفاوت تنها در مقایسهٔ [se] /[ce] فاقد معناست. کمترین میزان معناداری نیز در رابطهٔ [sá] /[ʧá] مشاهده‌می‌شود. شیب افزایش دامنهٔ نوفهٔ آنها نیز در تمام بافت‌ها، نسبت به شیب نوفهٔ آواهای سایشی، به‌ویژه [s] بیشتر است، اما این تفاوت‌ها همیشه معنادار نیستند. اختلاف میانگین شیب نوفهٔ [c] پیش از [é]، با مقدار آن در آواهای سایشی همواره معنادار است و میزان این معناداری در مقایسه با [ʃ] در بافت [ʃé] کمتر است. تفاوت میانگین شیب نوفهٔ [c] پیش از واکهٔ بی‌تکیهٔ [e] نیز تنها در مقایسه با [s] به‌طور جزئی معنادار است. اختلاف شیب نوفهٔ [c] پیش از [á] و [a] معنادار نیست، به‌ویژه در مقایسه با [ʃ] در هجای تکیه‌بر و در مقایسه با [s] در هجای فاقد تکیه. بالاتربودن شیب نوفهٔ [ʧ] نیز تنها در مقایسه با [s] به‌مقدار جزئی معنادار است، به‌خصوص پیش از واکهٔ [é] و عدم معناداری آن نسبت به [ʃ] در بافت [ʃé] بارزتر است. با این توصیف، شیب افزایش دامنهٔ نوفهٔ [c] و [ʧ] به‌طورکلی، به میزان آن در [ʃ] نزدیک‌تر است.

رپ و همکاران (1978) و درمن و همکاران (1980) عنوان‌کرده‌اند که کاهش دیرش بست و شیب دامنهٔ سایش در مقابل افزایش دیرش سایش و زمان رسیدن به میزان بیشینهٔ آن، مهم‌ترین تغییرات صوت‌شناختی در تبدیل آواهای انسایشی به سایشی هستند. در میان داده‌های ما، یک مورد از تکرار واژه‌های *کچل* و *نکره* یافت‌شد که آواهای [c] و [ʧ] در آنها، فاقد مرحلهٔ بست بودند و تلفظی کاملاً سایشی داشتند[1]. شکل (۷) طیف‌نگاشت این دو مورد را نشان‌می‌دهد:

۱. مقادیر مربوط به این موارد در جدول‌های پیوست وارد نشده‌اند.

شکل ۷. شکل موجی و طیف‌نگاشت [ca.ʧál] و [na.ca.ɹé]



همان‌طور که در شکل ۷ مشخص است، در طیف‌نگاشت و شکل موجی [c] و [ʧ] وقفهٔ سکوت وجودندارد و در مقابل، نوفهٔ سایش در تمام طول آنها برقرار است. دیرش صفر مرحلهٔ بست و کاهش شیب دامنهٔ نوفهٔ [c] و [ʧ] (به‌ترتیب، ۰/۱ و ۰/۰۴ پاسکال/ثانیه) نسبت به میانگین آن در سایر موارد تلفظ آنها پیش از [a] و [á] (به‌ترتیب، ۰/۸ و ۰/۲۷ پاسکال/ثانیه) و در مقابل، افزایش دیرش نوفهٔ آنها (۷۳/۶۲ و ۸۱/۳۱ هزارم‌ثانیه) در مقایسه با میانگین این مقادیر در دیگر موارد این بافت‌ها (۳۶/۱۶ و ۶۱/۵۹ هزارم‌ثانیه) و در نهایت، دیرش بیشتر افزایش دامنهٔ آنها (۲۹/۴۳ و ۴۷/۱۵ هزارم‌ثانیه) نسبت به سایر موارد تلفظ آنها در همان بافت‌ها (۲۱/۹ و ۳۵/۶ هزارم‌ثانیه) (پیوست ۱) سایشی‌شدگی این آواها را در بافت میان‌واکه‌ای (در اینجا، قبل از واکهٔ پیشین) اثبات‌می‌کند. بدین‌ترتیب، اگرچه آواهای انسدادی و انسایشی در هجاهای تکیه‌بر شباهت بیشتری با آواهای سایشی دارند، سایشی شدگی آنها در هر دو نوع هجای بی‌تکیه و تکیه‌بر ممکن است.

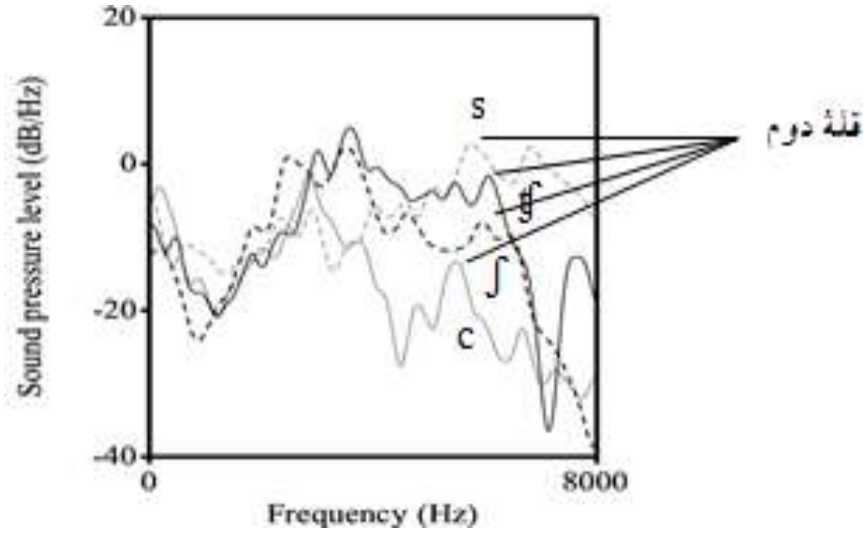
این بخش را با توضیح در مورد دو پارامتر دیگر به‌پایان‌می‌بریم. در داده‌های ما، به‌طورکلی، قلهٔ دوم نوفهٔ [ʃ] در بسامدهایی کم‌وبیش پایین‌تر از بسامد آن در [s] قراردارد، اما این اختلاف معنادار نیست، به‌ویژه در مقایسهٔ [ʃé] /[sé]. قلهٔ دوم [c] در بسامدهایی پایین‌تر از آن در [s] متمرکز است و بیشترین نزدیکی با آن را در بافت [sé] دارد. میانگین این بسامد نسبت به میانگین آن در [ʃ] نیز کمتر است، ولی این تفاوت هم معنادار نیست. اختلاف بسامد این قله برای [c] در هجاهای بی‌تکیه تنها در بافت [e] فاقد معناست. قلهٔ دوم [ʧ] در بسامدهایی بسیار نزدیک به بسامدهای آن در [ʃ] و [s] واقع‌شده‌است و تفاوت معناداری با آنها ندارد. می‌توان‌گفت قلهٔ دوم [ʧ] در بافت واکهٔ [é] بیشترین نزدیکی را با میزان آن در [s] در توالی [sé] دارد و پیش از واکهٔ [á] بیشترین شباهت را با [ʃ] در توالی

[ʃá] داراست. در نتیجه، بسامد قلهٔ آواهای انسدادی، انسایشی و سایشی مذکور کم‌وبیش به یکدیگر نزدیک است، اما بر اساس اختلاف میانگین مجموع داده‌ها و فارغ از میزان معناداری آنها، می‌توان ترتیب [c] > [ʃ] > [ʧ] > [s] را برای بسامد قلهٔ دوم آنها قائل شد.

شدت قلهٔ دوم نوفهٔ [c]، اختلاف معناداری با میزان آن در [s] در توالی‌های [sé] و [sá] دارد، به‌خصوص در مورد دوم و به مقدار آن در [ʃ] در بافت‌های [ʃé] و [ʃá] نزدیک تر است. اختلاف میانگین شدت این قلهٔ [c] در هجاهای بی‌تکیه، در مقایسه با هر دو آوای سایشی، فقط در بافت [a] معنادار است. شدت دومین مرکز تجمع انرژی نوفهٔ [ʧ] از میزان شدت آن در [s] کمتر و از مقدار آن در [ʃ] بیشتر است، اما این تفاوت‌ها در بافت واکهٔ [á] بارزترند و اختلاف میانگین [ʃ] /[ʧ] در این بافت معنادار است. بیشتربودن میزان این شدت در [ʧ] نسبت به [ʃ] در بافت میان‌واکه‌ای (یافتهٔ بی‌جن‌خان (۱۳۹۲: ۳۲۰)) را تأییدمی‌کند؛ به این معنی که [ʧ] در بافت میان‌واکه‌ای پیش از واکه‌های پیشین ممکن است جایگاه تولید پیشین‌تری نسبت به [ʃ] داشته باشد. این وضعیت در مقایسه با زمانی که [ʃ] در بافت میان‌واکه‌ای قرار ندارد، مشاهده نمی‌شود، زیرا در آن شرایط شدت قلهٔ دوم نوفهٔ [s] از مقدار آن در [ʃ] و [ʧ] کمتر است (بخش ۴ـ۲).

نتایج این بخش را می‌توان این‌گونه خلاصه نمود که [c] و [ʧ] در بافت میان‌واکه‌ای، تنها از نظر دیرش نوفه با هر دو آوای [ʃ] و [s] در همان بافت و در هر دو نوع هجا تفاوت معنادار دارند. شدت قلهٔ دوم [s] در این بافت و به‌ویژه در هجای تکیه‌بر، بیشتر از مقدار آن در [ʃ] و نزدیک به میزان آن در [ʧ] در بافت بیناواکه‌ای و به‌خصوص پیش از واکهٔ [á] است (برخلاف آنچه در مقایسه با [t.ʃV] و [t.sV] دیده‌می‌شود) و این می‌تواند استدلالی برای پیشین‌تر بودن جایگاه تولید [ʧ] در این مورد باشد. نوفهٔ [c] از این لحاظ با نوفهٔ [ʧ] متفاوت است، زیرا شدت قلهٔ دوم آن در هجای تکیه‌بر، به میزان آن در آوای [ʃ] شبیه‌تر است (مشابه آنچه در مقایسه با [t.ʃV] و [t.sV] دیده‌می‌شود). به‌غیرازاین‌موارد، اکثر پارامترهای نوفهٔ هر دو آوای [c] و [ʧ] در بافت میان دو واکه، بیشتر به مقادیر آنها در [ʃ] گرایش دارند تا در آوای [s]. شکل (۸) مرکز تجمع انرژی و شدت آن را در طیف بسامدی نمونه‌ای از همخوان‌های انسدادی، انسایشی و سایشی در بافت میان‌واکه‌ای نشان‌می‌دهد:

شکل ۸. طیف بسامدی نوفهٔ [c] (خط نازک)، [ʧ] (خط ضخیم) [s] (خط‌چین نازک) و [ʃ] (خط چین ضخیم) در بافت میان‌واکه‌ای، پیش از واکهٔ [á]



بر اساس شکل ۸، بسامد قلهٔ دوم آواهای [c]، [s]، [ʃ] و [ʧ] به یکدیگر نزدیک است، اما شدت انرژی این قله در آنها متفاوت است، به‌طوری‌که، پایین‌ترین میزان آن در نوفهٔ [c] و بالاترین مقدار آن در نوفهٔ [s] مشاهده‌می‌شود. شدت قلهٔ دوم [ʧ] بالاتر از میزان آن در [ʃ]و پایین‌تر از مقدار آن در [s] است و این نشان‌می‌دهد جایگاه تولید [ʧ] پیشین‌تر و به جایگاه تولید [s] نزدیک شده‌است.

٤ـ٤. واک‌دارشدگی در بافت میان‌واکه‌ای

همخوان‌ها در بافت میان‌واکه‌ای مستعد واک‌دارشدگی هستند و همان‌طور که در مثال‌های (۱) و (۴) مشاهده‌شد، این تغییر در صورت‌های تاریخی زبان فارسی رخ‌داده‌است. این تغییر در نمونه‌های هم‌زمانی این پژوهش وقوع‌نیافته‌است، زیرا بررسی سرنخ‌های صوت‌شناختی آن شامل دیرش مرحلهٔ بست، حضور بسامد پایه[1] در مرحلهٔ بست در طیف‌نگاشت، دیرش واکهٔ ماقبل همخوان و مقدار زاو (بی‌جن‌خان، ۱۳۹۲: ۲۱۵، ۲۹۰ و

1. fundamental frequency

۳۱۷) در موارد مشکوک به واک‌دارشدگی، تفاوت معناداری با سایر موارد نشان نمی‌دهند.

٤ـ٥. سایشی‌شدگی در بافت /t .—V/

آخرین تغییر آوایی که موردتوجه قرارمی‌دهیم، سایشی‌شدگی /k/ به [x] در پایان هجا، پیش از همخوان [t] در آغازهٔ هجای بعد است. در فارسی امروز، همخوان انسدادی بدنه ای بی‌واک در این بافت هم دمیده (حق‌شناس، ۱۳۷۶: ۱۱۰؛ ثمره، ۱۳۷۸: ۲۶ و ۳۸ـ۴۸) و هم پیشین (ثمره، ۱۳۷۸: ۴۱؛ کرد زعفرانلو کامبوزیا: ۱۳۹۲: ۱۸۰؛ اشرف‌زاده و نوربخش: ۱۳۹۳) است و در هجای بی‌تکیه قراردارد. تغییر آوایی مذکور این بار نیز با تغییر در شیوهٔ تولید همخوان همراه است و در صورت وقوع آن، امکان مشاهدهٔ ویژگی‌های صوت‌شناختی آوایی سایشی مانند [x] در این بافت وجوددارد. برای بررسی این امکان، پارامترهای صوت‌شناختی [x] را با همان پارامترها در مورد [c] در مجاورت [t] مقایسه‌می‌کنیم.

میانگین دیرش بست، رهش و دمش [c] پیش از [t] کوتاه‌تر از مقدار آنها در هجای بی‌تکیه در بافت میان‌واکه‌ای /e—ɑ/ (به‌ترتیب، ۴۵/۷۲، ۵/۲۵ و ۴۲/۱۵ هزارم‌ثانیه) در داده‌های این پژوهش است. وضعیت [c] در آن بافت، مشابه وضعیت آن در داده‌های این بخش است؛ قرارگیری در هجایی بی‌تکیه و پس از واکهٔ پسین /ɑ/. دیرش کوتاه این پارامترها در واقع، به این دلیل است که [c] در ۲ مورد از ۴ تکرار توالی [ct] فاقد وقفهٔ انسداد و انفجار ناشی از رهش آن است و تلفظی سایشی‌شده دارد.

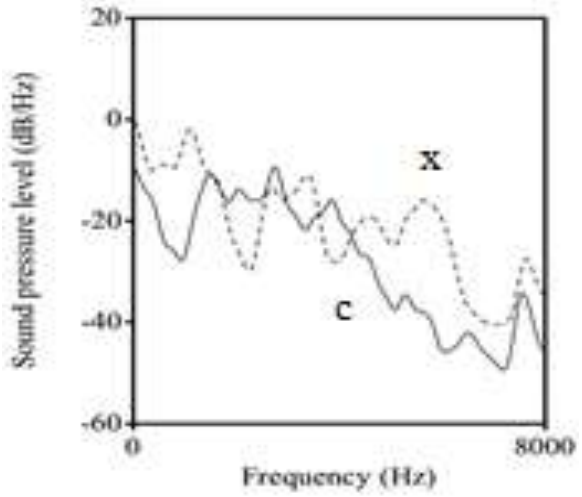
میانگین دیرش دمش [c] در دو موردی که دارای مرحلهٔ بست هستند، ۵۴/۴۵ هزارم‌ثانیه است که از میانگین آن در مجاورت همخوان‌های سایشی بی‌واک در زنجیره های [mascan] و [moʃcel] (به‌ترتیب، ۳۲/۸ و ۴۶/۱۶ هزارم‌ثانیه) بیشتر است. دیرش رهش [c] نیز در این موارد چندان قابل‌توجه نیست، زیرا رهش همخوان‌های انسدادی معمولاً در بافت /V—/ محسوس‌تر است تا در بافت /C—/ (اشرف‌زاده و نوربخش، ۱۳۹۳). بنابراین، تنها ویژگی‌های نوفهٔ [c] (قطعهٔ پس از بست و نوفهٔ سایش در موارد سایشی‌شده) را مورد توجه قرارمی‌دهیم.

میانگین دیرش نوفهٔ [c] در مجموع تکرارها، اختلاف معناداری با مقدار آن در [x] ندارد، اما تفاوت میانگین مرکز تجمع انرژی و شدت نوفهٔ آن با آوای سایشی فوق معنادار

است. با توجه به میانگین داده‌ها، مرتبه‌بندی دو آوای موردنظر به‌لحاظ بسامد مرکز تجمع انرژی، به شکل [x] > [c] و از نظر شدت، برعکس آن است. بالاتربودن مرکز تجمع انرژی [c] به‌دلیل پیشین‌تربودن جایگاه تولید آن نسبت به آوای دیگر است، اما در یکی از نمونه‌های سایشی‌شدهٔ [c] بسامد مرکز تجمع انرژی و شدت نوفه به مقادیر میانگین آنها در [x] بسیار نزدیک است (به‌ترتیب، ۱۹۵۲/۳۶ هرتز و ۲۸/۵۵ دسی‌بل (شکل ۹)). گفتنی است بسامد مرکز تجمع انرژی [c] در این نمونه، از میانگین آن در بافت /a—e/ کمتر است، چه در قطعهٔ رهش همخوان (۲۹۹۰/۵۶ هرتز) و چه در نوفهٔ آن (۲۸۵۸/۴۳ هرتز). این امر نشان‌می‌دهد که جایگاه تولید [c] پیش از [t] ممکن است پسین‌تر باشد.

لدی‌فوگد و مدیسن (1996: 176) به این نکته اشاره‌کرده‌اند که در طیف بسامدی [x] چند قله وجوددارد که اولین آنها در بسامدهای پایین طیف، در تعیین جایگاه این آوا نقش دارد، به‌طوری‌که با پسین‌تر شدن [x] از بسامد این قله کاسته‌می‌شود. میانگین این قله در داده‌های ما، که در آنها [x] پس از واکهٔ پسین /ɑ/ قراردارد، برابر با ۱۰۷۸/۵هرتز است که با میزان گزارش‌شدهٔ آن (۱۱۱۷ هرتز) در پژوهش اسدی (۱۳۹۱) تقریباً برابر است. در داده‌های این بخش، آوای [c] نیز در همان بافت قراردارد و در ۳ مورد از تکرارهای آن، قله‌هایی مشاهده‌می‌شوند که میانگین بسامد آنها تفاوت معناداری با میزان آنها در آوای [x] ندارد. البته شدت این قله در [c] به‌طور معنادار کمتر از میزان آن در آوای دیگر است. شکل (۹) طیف بسامدی گونهٔ سایشی‌شدهٔ [c] را در مقایسه با آوای [x] نشان‌می‌دهد:

شکل ۹. طیف بسامدی [c] (خط ساده) و [x] (خط‌چین)



مطابق شکل ۹، مرکز تجمع انرژی نوفهٔ [c] (۱۹۵۲/۳۶ هرتز) و شدت آن (۲۸/۵۵ دسی بل) به میانگین آنها در [x] نزدیک است. قلهٔ اول [c] با بسامد ۱۵۰۷/۳۳ هرتز، به قلهٔ [x] شباهت دارد، اما شدت این قله (۱۰/۹- دسی‌بل) از مقدار آن در [x] کمتر است.

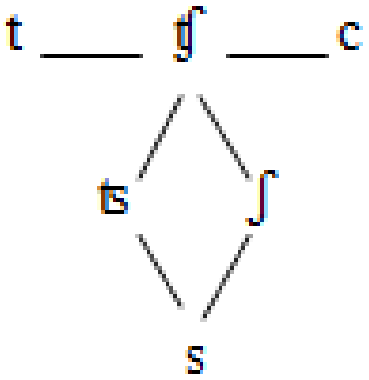
میانگین دیرش افزایش دامنهٔ نوفهٔ [c] نیز به مقدار آن در [x] بسیار نزدیک‌تر است و تفاوت معناداری با آن ندارد. میانگین شیب افزایش دامنهٔ نوفهٔ [c] از مقدار آن در سایشی [x] کمتر است، ولی این اختلاف نیز فاقد معناست. بر اساس یافته‌های این بخش، میانگین بسامد قله، دیرش نوفه و شیب افزایش دامنهٔ آن به میزان آنها در [x] نزدیک است. معناداری اختلاف میانگین مرکز تجمع انرژی [c] و شدت نوفهٔ آن نیز در مقایسه با [x] کم است. بدیهی است که مقادیر این پارامترها در موارد سایشی‌شده، شباهت بیشتری با مقدار آنها در آوای سایشی فوق دارد.

۵. خلاصه و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، در قالب واج‌شناسی تاریخی آزمایشگاهی به بررسی پایه‌های آوایی تغییرات همخوان [k] در گروهی از فعل‌های زبان فارسی پرداختیم. در فارسی باستان، [k] همخوان پایانی ریشهٔ این فعل‌ها بوده‌است که در بافت میان‌واکه‌ای، پیش از واکهٔ پیشین /a/ (در ساخت ستاک حال)، جایگاه پیشین‌تری داشته و در گذر زمان به آواهای پیشین

انسایشی [ʧ] و سایشی [z] تغییریافته‌است، اما پیش از همخوان [t] (در ساخت گذشته) به آوای سایشی [x] تغییرکرده‌است. برای پی‌بردن به چگونگی این تغییرات درزمانی در جایگاه و شیوهٔ تولید [k]، ویژگی‌های صوت‌شناختی آن در بافت‌های /V—[e, a]/ و /V—t/ بررسی و با ویژگی‌های صوت‌شناختی آواهای انسایشی و سایشی مذکور در همان بافت‌ها مقایسه‌شد. یافته‌های پژوهش حاضر نشان‌می‌دهند که جایگاه تولید [c] به‌ویژه در بافت واکهٔ پیشین‌تر [e]، به جایگاه تولید [ʧ] نزدیک شده‌است و تکیه نقش مؤثری بر میزان این نزدیکی دارد. طبق این یافته‌ها، [c] به‌لحاظ ویژگی‌های شیوهٔ تولید نیز در بافت موردنظر به [ʧ] شبیه است، اما در گذر [ʧ] به آوایی سایشی، اکثر پارامترهای نوفهٔ [ʧ] در جایگاه میان دو واکه، بیشتر به مقادیر آنها در [ʃ] گرایش دارند تا در آوای [s] و شباهت آن با [s] از نظر شدت قلهٔ دوم نیز تنها در همین جایگاه است. این ویژگی‌ها می‌توانند استدلالی برای پیشین‌تربودن جایگاه تولید [ʧ] در بافت میان‌واکه‌ای باشند. بنابراین، همخوان /ʧ/ در زبان فارسی معیار امروز ممکن است در بافت میان‌واکه‌ای، به‌صورت آوای [ts] ظاهر شود. به‌نظرمی‌رسد آوای سایشی پایانی در ساخت فعل‌های موردنظر ما، نتیجهٔ تضعیف همین آوا بوده‌باشد که به اعتقاد صادقی (۱۳۵۷: ۱۲۴ـ۱۲۵)، در فارسی باستان، وجودداشته‌است. نکتهٔ قابل‌توجه دیگر در مورد تکیه است. دریافتیم که تکیه نقش مهمی در جایگاه تولید آوای انسدادی دارد. تأثیر تکیه بر شیوهٔ تولید [c] و [ʧ] نیز مشهود است. به‌طورکلی، شیوهٔ تولید این آواها در هجاهای تکیه‌بر شباهت بیشتری با شیوهٔ تولید آواهای انسایشی و سایشی دارد، اگرچه تولید سایشی [c] در هجای بی‌تکیه نیز ممکن است. به همین‌دلیل، می‌توان نتیجه‌گرفت که در تضعیف آواهای مذکور، دمیده‌بودن و قرارگیری در بافت میان‌واکه‌ای عوامل مهم‌تری هستند و تکیه نقش ثانویه دارد. با توجه به شباهت های صوت‌شناختی مشاهده‌شده، می‌توان رابطهٔ زیر را برای تغییرات ممکن آواهای فوق در بافت واکه‌های پیشین درنظرگرفت:

شکل ۱۰. رابطهٔ شباهت میان آواهای انسدادی، انسایشی و سایشی در بافت میان‌واکه‌ای



رابطهٔ ۱۰ با اندکی تغییر، مشابه آن چیزی است که کاوار و هامن[1] (2003) برای زبان لهستانی ارائه‌کرده‌اند. در زبان فارسی نیز امکان تغییر آواهای تاج‌زبانی [t] و بدنه‌ای [c] به آوای پس‌لثوی [ʧ] وجوددارد. تفاوت‌های سبکی در تلفظ واژه‌های *چپاندن* [tapɑndan]~[ʧapɑndan] و *معطل* [moʔattal]~[maʧal] نمونه‌هایی از حالت اول هستند و داده‌های پژوهش حاضر، مصداق‌هایی از حالت دوم. کاهش چشمگیر مدت‌زمان بست [c]، نزدیکی آن به آوای [ʧ] به‌لحاظ جایگاه و شیوهٔ تولید، شباهت آن با [s] و [ʃ] و نیز سایشی‌شدن آن در برخی از تکرارها حاکی از آن هستند که [c] در مسیر تضعیف خود در این بافت، باید از وضعیتی انسایشی عبورکند. آنگاه آوای انسایشی حاصل می‌تواند با تضعیف بیشتر به آوایی سایشی تبدیل‌شود. آواهای انسدادی، انسایشی و سایشی به‌دلیل قرارگیری در بافت میان‌واکه‌ای مستعد واک‌دارشدگی هستند و این امکان برای آنها در هر مرحله فراهم است، گرچه این تغییر در صورت‌های هم‌زمانی این پژوهش مشاهده‌نشده‌است. شرایط سایشی‌شدگی [c] علاوه بر بافت بیناواکه‌ای، در جایگاه پایانی هجا پیش از همخوان [t] نیز فراهم است و نوفهٔ [c] در این بافت بسیاری از ویژگی‌های آوای [x] را داراست. گرچه [c] به‌لحاظ جایگاه تولید هنوز با [x] فاصله دارد، اما میانگین مرکز تجمع انرژی آن در دو مورد مذکور پایین‌تر از مقدار آن در بافت /e—ɑ/ است؛

1. Ćavar, M., & Hamman, S.

یعنی این امکان وجوددارد که جایگاه تولید [c] پیش از [t] پسین‌تر باشد. سایشی‌شدگی در بافت /t/ محدود به آوای [c] نیست و در واقع، سایر همخوان‌های انسدادی و حتی انسایشی زبان فارسی از این نظر رفتار مشابهی دارند. برخی از نمونه‌های این تغییرات، مانند آنچه در فعل‌های موردتوجه ما دیده‌می‌شود، از گذشتهٔ این زبان و در قالب تناوب‌های ساختاری به‌جامانده‌اند، مانند *کوبیدن* [kub]~[kuft]، *تفتن* [tɑb]~[taft] و *بستن* [band]~[bast] و برخی دیگر، مثل *نقطه* [noɢte]~[noxte]، *وقت* [vaɢt]~[vaxt] (رضاآسا، ۱۳۹۵) و *اجتماع* [ʔedʒ.te.ma(ʔ)]~[ʔeʒ.te.ma(ʔ)]~[ʔeʃ.te.ma(ʔ)]~[ʔeʃ.te.ma(ʔ)] که به شکل تفاوت‌های سبکی در فارسی امروز وجوددارند. تفاوت این صورت‌ها و تناوب‌هایی مانند مثال (۱) با نمونه‌های هم‌زمانی مورد بررسی در این است که تغییرات رخ‌داده در حالت اول، به سطح ادراک گویشور رسیده‌است، اما تغییرات مشاهده شده در حالت دوم، هنوز در سطح ویژگی‌های صوت‌شناختی هستند، به‌طوری‌که گویشور ممکن است واژه‌های «پکر» و «پاک‌تر» را «پچر» و «پاخ‌تر» نشنود. باوجوداین، بافت آوایی این کلمه‌ها مشابه بافت آوایی موجود در فعل‌های مورد پژوهش است و زمینهٔ صوت‌شناختی تغییرات مشاهده‌شده در ریشهٔ آن فعل‌ها در این واژه‌ها نیز فراهم است. بنابراین، بعید نیست که با گذر زمان تغییرات آوایی از ساخت‌های فعلی به صورت‌های غیرفعلی منتقل‌شوند و گویشوران بیشتری آن را درک و تولیدکنند. آنگاه، انتقال واژه‌به‌واژه و فردبه‌فردی که مدنظر اوهالاست (شکل ۱)، صورت‌می‌گیرد و آنچه امروز به شکل تنوع آوایی، واجگونه‌ای و سبکی در زبان وجود دارد، به تغییرات آوایی (تاریخی) فردا منتهی خواهدشد. /k/ این مسیر را در گذشتهٔ زبان فارسی طی‌کرده‌است، اما در حال آن، هنوز در میانهٔ راه است.

تعارض منافع

تعارض منافع ندارم.

ORCID

Fahimeh Khodaverdi https://orcid.org/0000-0003-3926-9077

Golnaz Modarresi Ghavami https://orcid.org/0000-0002-5440-9018

Mojtaba Monshizadeh https://orcid.org/0000-0002-0808-6094

منابع

ابوالقاسمی، محسن. (۱۳۷۳). *ماده‌های فعل‌های فارسی دری*. تهران: ققنوس.

اسدی، اکرم. (۱۳۹۱). تحلیل آکوستیکی جایگاه تولید همخوان <خ> در زبان فارسی. *مجموعه مقالات نخستین هم‌اندیشی آواشناسی فیزیکی* (۱۳ـ۸۳). تهران: نویسهٔ پارسی.

اشرف‌زاده، فریبا و نوربخش، ماندانا. (۱۳۹۳). مرکز تجمع انرژی، پارامتر تعیین جایگاه تولید همخوان‌های انسدادی بدنه‌ای در زبان فارسی: یک تحلیل صوت‌شناختی. *مجموعه مقالات نهمین همایش زبان‌شناسی ایران*. (۱۱۷ـ۱۳۱). تهران: انتشارات دانشگاه علامه طباطبائی.

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

بی‌جن‌خان، محمود. (۱۳۹۲). *نظام آوایی زبان فارسی*. تهران: سمت.

ثمره، یدالله. (۱۳۷۸). *آواشناسی زبان فارسی: آواها و ساخت آوایی هجا*. تهران: مرکز نشر دانشگاهی.

حسن‌دوست، محمد. (۱۳۹۳). *فرهنگ ۵ جلدی ریشه‌شناسی زبان فارسی*. تهران: فرهنگستان زبان و ادب فارسی.

حق‌شناس، علی‌محمد. (۱۳۷۶). *آواشناسی*. تهران: آگه.

دهخدا، علی‌اکبر. (۱۳۷۷). *لغت‌نامهٔ دهخدا*. تهران: مؤسسهٔ انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

رضاآسا، مریم. (۱۳۹۵). بررسی شیوهٔ تولید همخوان ملازی /G/ در زبان فارسی معیار. *علم زبان*، ۴(۶)، ۱۰۱ـ۱۲۹.

صادقی، علی‌اشرف. (۱۳۵۷). *تکوین زبان فارسی*. تهران: دانشگاه آزاد ایران.

صادقی، وحید. (۱۳۸۶). تأثیر دمش بر تقابل واک‌داری ـ بی‌واکی انسدادی‌های فارسی. *مجلهٔ زبان و زبان‌شناسی*، ۳(۶)، ۶۵ـ۸۱.

عظیمی، الناز. (۱۳۹۴). *بررسی صوت‌شناختی همخوان‌های انسدادی بدنه‌ای در گزیده‌ای از زبان‌های ایرانی: رویکردی رده‌شناختی*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علامه طباطبائی.

کرد زعفرانلو کامبوزیا، عالیه. (۱۳۹۲). *واج‌شناسی رویکردهای قاعده‌بنیاد*. تهران: سمت.

مدرسی قوامی، گلناز. (۱۳۸۶). خنثی‌شدگی تقابل همخوان‌های انسدادی واک‌دار و بی‌واک در زبان فارسی. *مجموعه مقالات هفتمین همایش زبان‌شناسی ایران* (۴۴۱ـ۴۵۴). تهران: انتشارات دانشگاه علامه طباطبائی.

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

محمودزاده، زهرا و بی‌جن‌خان، محمود. (۱۳۸۹). تجزیه‌وتحلیل صوت‌شناختی سایشی‌شدگی انسایشی‌های /ʤ/ و /ʧ/: فرضیهٔ جوازدهی سرنخی. *مجلهٔ زبان و زبان‌شناسی*، ۶(۱۱)، ۲۱ـ۴۳.

نوربخش، ماندانا. (۱۳۸۸). *نقش تمایزی زمان شروع واک (وی‌اُتی) در همخوان‌های انسدادی دهانی فارسی معیار*. رسالهٔ دکتری، دانشگاه تهران.

References

Abolghasemi, M. (1994). *Dari Persian Verb Articles*. Tehran: Ghoghnus. [In Persian]

Anderwald, L. (2009). *The Morphology of English Dialects: Verb Formation in Non-Standard English*. Cambridge: Cambridge University Press.

Asadi, A. (2012). Acoustic analysis of the place of articulation of <خ> in Persian. *Proceeding of the 1st Consensus of Physical Phonetics*, Tehran: Nevise-j-e- Parsi, 13-38. [In Persian]

Ashby, M., & Maidment, J. (2005). *Introducing Phonetic Science*. Cambridge: Cambridge University Press.

Ashrafzadeh, F., & Noorbakhsh, M. (2014). Center of Gravity, a parameter for determining the place of articulation of Persian dorsal stops: An acoustic analysis. *Proceeding of the 9th Iranian Conference on Linguistics*, Tehran: Allameh Tabataba'i University Publishing, 117-131. [In Persian]

Azimi, E. (2015). *An acoustic study of dorsal stops in a selection of Iranian Languages: A typological view* [Master's thesis, Allameh Tabataba'i University]. [In Persian]

Bateman, N. (2007). *A crosslinguistic investigation of palatalization* [Doctoral Dissertation, University of California. San Diego].

Bhat, D. N. S. (1978). A general study of palatalization. In J. H. Greenberg (Ed.), *Universals of Human Language, 2* (pp. 47–91). Stanford University Press.

Bijankhan, M. (1995). *Persian phonetic and phonological representation and its application in speech recognition* [Doctoral dissertation, Tehran University]. [In Persian]

Bijankhan, M. (2013). *Phonetic System of Persian*. Tehran: Samt. [In Persian]

Boersma, P., & Weenink, D. (2011). Praat: Doing phonetics by computer.

http://www.fon.hum.uva.nl/praat/

Calabrese, A. (1965). *Markedness and Economy in a Derivational Model of Phonology*. Berlin: Mouton de Gruyter.

Catford, J. C. (2001). *A Practical Introduction to Phonetics*. Oxford: Oxford University Press.

Ćavar, M., & Hamman, S. (2003). Polish velar palatalization: Its perceptual background. In P. Kosta, J. Blaszczak, J. Frasek & L. Geist & M. Zygis (Eds.), *Investigation into Formal Slavic Linguistics: Contribution of the 4th European conference on Formal description of Slavic Language* (pp. 31-48). Berlin: Peter Lang Verlag.

Chang, S. S., Plauché M. C., & Ohala, J. J. (2001). Markedness and consonant confusion asymmetries. In E. Hume & K. Johnson (Eds.), *The Role of Speech Perception in Phonology*, (pp. 79-101). New York: Academic Press.

Chen, M. (1973). Predictive power in phonological description. *Lingua*, 32, 173-191.

Cho, T., & Ladefoged, P. (1999). Variation and universal in VOT: evidence from 18 languages. *Journal of Phonetics*, 27, 207-227.

Dehkhoda, A. (1998). Loghatnâmeh (Encyclopedic Dictionary).Tehran: Tehran University Publication. [In Persian]

Dorman, M. F., Raphael L. J., & Isenberg, D. (1980). Acoustic cues for a fricative-affricate contrast in word final position. *Phonetics*, 8(4), 397-405.

Esper, E. A. (1925). A technique for the experiment investigation of associative interference in artificial linguistic material. *Language Monographs*, 1, 1-47.

Guion, S. G. (1998). The role of perception in the sound change of velar palatalization. *Phonetica*, 55, 18-52.

Hall, T. A. (2000). Typological generalizations concerning secondary palatalization. *Lingua*, 110, 1-25.

Honeybone, P. (2008). Lenition, weakening and consonantal strength: tracing concepts through the history of phonology. In J. Brandao, T. Scheer & P. Segeral (Eds.), *Lenition and Fortition*: *Studies in generative Grammar, 9*, (pp. 9-92). Muton de Gruyter.

Haden, E. F. (1938). The physiology of French consonant changes: A study in experimental phonetic. *Language*, 14(4): 3-117. Linguistic Society of America.

Haghshenas, A. (1997*). Phonetics*. Tehran: Agah Publishing. [In Persian]

Hasandust, M. (2014). *The Etymological Dictionary of Persian*. 5 Vols. Tehran: Academy of Persian Language and Literature. [In Persian]

Iverson, G. K., & Salmons J. C. (1995). Aspiration and laryngeal representation in Germanic languages. *Phonology*, 12(3), 369-396.

Keating, P., & Rahili, A. (1993). Fronted velars, palatalized velars, and palatals. *Phonetica*, 50, 73–101.

Kochetov, A. (2011). Palatalization. In C. Ewen, E. Hume, M. van Oostendorp & K. Rice (Eds.), *The Blackwell Companion to Phonology*, (pp. 1666–1690). Oxford: Wiley Blackwell.

Kord-e Za'franloo, A. (2013). *Phonology: Rule-Based Approaches*. Tehran: Samt. [In Persian]

Korn, A. (2005). *Towards a Historical Grammar of Balouchi: Studies in Phonology and Vocabulary*. Beiträge zur Iranistik 26.

Krämer, M., & Urek, O. (2015). *Special Issues on Palatalization.* In M. Krämer & O. Urek (Eds.), *Nordlyd*, 42 (pp. i-ii). University of Tromsø–The Arctic University of Norway.

Ladefoged, P., & Maddieson, I. (1996). *the Sounds of the World Languages*. Cambridge: Willey Blackwell.

Lee, J. K. (2000). Velar palatalization-revisited. *Studies in Phonetics, Phonology, and Morphology*, 6(2), 415-430.

Mahmoodzadeh, Z., & Bijankhan, M. (2007). Acoustic analysis of the Persian fricative-affricate contrast, In IcPhS XVI, Saarbrüken, 920-924.

Mahmoodzadeh, Z., & Bijankhan, M. (2010). The acoustic analysis of spirantization of the Persian affricates: Licensing by Cue Hypothesis. *Language and Linguistics*, 6(11), 21-43. [In Persian]

Modarresi Ghavami, G. (2007). Neutralization of voice contrast in Persian stops. *Proceeding of the 7th Iranian Conference on Linguistics*, Tehran: Allameh Tabataba'i University Publishing, 441-454. [In Persian]

Modarresi Ghavami, G. (2011). *Phonetics: The Scientific Study of Speech*. Tehran: Samt. [In Persian]

Noorbakhsh, M. (2009). *Conrastive role of VOT in Persian oral stops* [Doctoral dissertation, Tehran University]. [In Persian]

Ohala, J. J. (1983). The Origin of Sound Pattern in Vocal Tract Constraints. In P. F. MacNeilage (Ed.), *The Production of Speech* (pp. 189-216). New York: Springer-Verlag.

Ohala, J. J. (1984). Experimental historical phonology. In W. U. Dressler, H. C. Luschützky, O. E. Pfeiffer, & J. R. Rennison (Eds.), *Phonologica*. *Proceedings of the fifth international phonology meeting*, Eisenstadt, 353-387.

Ohala, J. J. (1989). Sound change is drawn from a pool of synchronic variation. In L. E. B. vik & E. H. Jahr (Eds.), *Language Change:*

Contributions to the Study of its Causes (pp. 173-198). Berlin: Mouton de Gruyter.

Pierrhumbert, J. B., Beckmen M. E., & Ladd, D. R. (1996). Conceptual foundations of phonology as a laboratory science. In N. Burton-Roberts, P. Carr & G. Docherty (Eds.), *Phonological Knowledge: Its Nature & Status* (pp. 273-304). Cambridge: Cambridge University Press.

Recasens, D., & Espinosa, A. (2003). Articulatory motivation of velar softening. In M. Solé, D. Recasens & J. Romero (Eds.), *Proceedings of the fifteenth ICPhS, Causal Productions*, Barcelona, 2, 1903-1906.

Recasens, D. (2011). Velar and dental stop consonant softening in Romance. *Diachronica*, 28(2), 186-224.

Reetz, H., & Jongman, A. (2009). *Phonetics: Transcription, Production, Acoustica, and Perception*. UK: Wiley-Blackwell.

Repp, B. H., Liberman, A. M., Eccardt, T., & Pesetsky, D. (1978). Perceptual integration of acoustic cues for stop, fricative, and affricate manner. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 4, 621-637.

Reza Asa, M. (2016). An acoustic study of the manner of articulation of uvular consonant /ɢ/ in Standard Persian. *Elm-e Zaban*, 4(6), 101-130. [In Persian]

Sadeghi, A. (1396). *Development of Persian Language*. Tehran: Azad University of Iran. [In Persian]

Sadeghi, V. (2008). The effect of aspiration on Persian stop voicing contrast. *Language and Linguistics*, 3, 2(6), 65-81. [In Persian]

Styler, W. (2019). Using Pratt for linguistic research. At *http://savethevowels.org/praat*. Version 1.8.1, Updated in 2017.

Samareh, Y. (1999). *Phonetics of Persian: Phones and Phonetic Structure of Syllable*. Tehran: Center of University Publication. [In Persian]

Tams, A. (2018). Experiments in spoken language. Teaching notes at *http://www.essex.ac.uk./speech/teig*.

Testen, D. (1997). Old Persian and Avestan phonology. In A. S. Kaye & P. T. Daniel (Eds.), *Phonologies of Asia and Africa (Including the Caucasus), 2* (pp. 569-600). Winona Lake, Indiana: Eisenbrauns

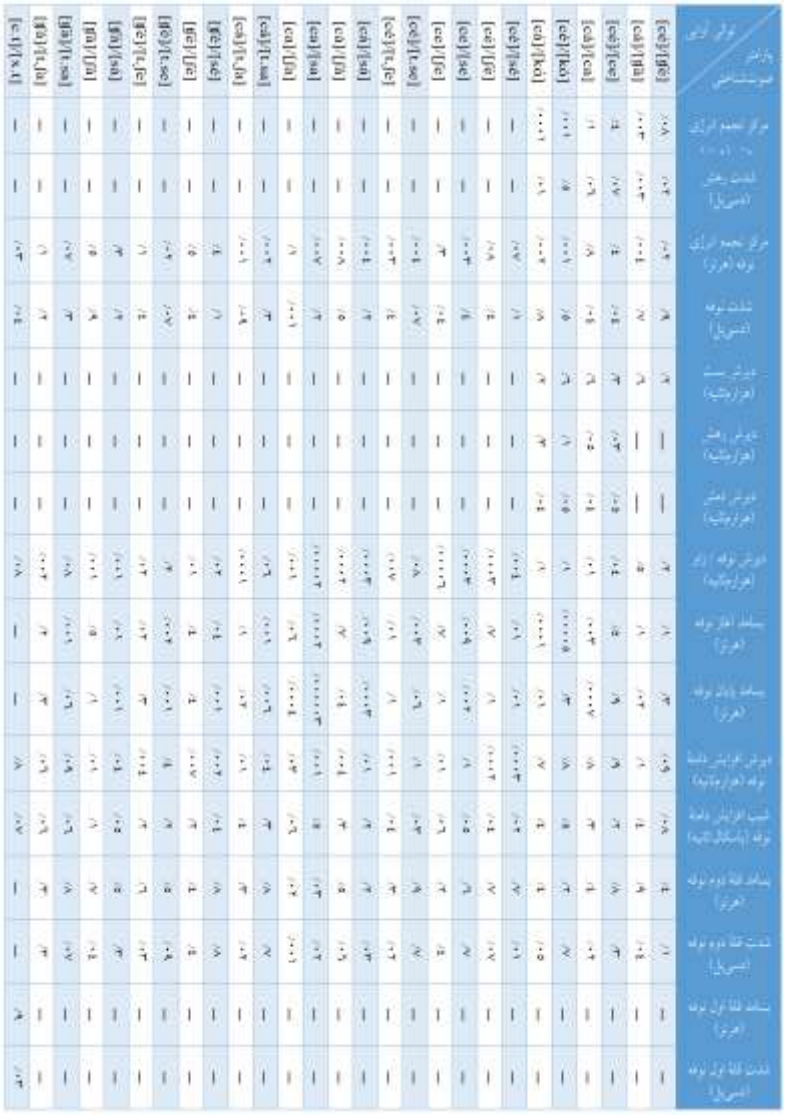
Trask, L. (2000). *The Dictionary of Historical and Comparative Linguistics*. Edinburgh: Edinburgh University Press.

Zigis, M., Recasensse D., & Espinosa, A. (2008). Acoustic characteristics of velar stops and velar softening in German, Polish and Catalan. In R. Stock, S. Fuchs & Y. Laprie (Eds.), *Proceedings of the eighth International Seminar on Speech Production*. Strasbourg: Universite de Strasbourg, 97-100.

پیوست ۱. جدول مقادیر میانگین پارامترهای صوت‌شناختی

پارامتر / هجای آزمایی	مرکز ثقل زاویه وقف (هرتز)	شیب وقف (سی‌بل)	مرکز ثقل زاویه توده (هرتز)	شیب توده (سی‌بل)	کشش دوم (هرتز/میلی‌ثانیه)	کشش وقف (هرتز/میلی‌ثانیه)	کشش میانی (هرتز/میلی‌ثانیه)	کشش توده زاویه (هرتز/میلی‌ثانیه)	بسامد نهایی توده (هرتز)	بسامد پایانی توده (هرتز)	کشش توده زاویه وقف (هرتز/میلی‌ثانیه)	شیب مرکزیت وقف (توده/میلی‌ثانیه)	بسامد نقطه اوج دوم توده (هرتز)	شیب نقطه اوج دوم توده (سی‌بل)	بسامد نقطه اوج توده (هرتز)	شیب نقطه اوج توده (سی‌بل)
[cé]	۳۱۷۶/۸۲	۳۴/۲۳	۲۵۲۵/۴۷	۳۹/۶۳	۵۶/۳۱	۱۱	۵۳/۶۰	۶۳/۷۰	۲۰۱۹	۵۹۵۶/۲۵	۱۰/۳	۰/۷۹	۱۷۱/۹۶	−۱۳/۹۵	—	—
[cá]	۲۹۱۰/۹۵	۳۲/۲۳	۲۲۳۶/۲۰	۳۸/۸۷	۳۹/۲۵	۸/۳۰	۴۷/۱۶	۵۵/۲۸	۲۳۱۲/۷۵	۶۱۱۱/۷۵	۲۰/۲	۰/۷۳	۵۰۵/۸۵	−۱۱/۶۷	—	—
[ʃé]	—	—	۳۸۸۸/۷۸	۴۹/۶۷	۴۱/۴۳	—	—	۷۸/۳۵	۲۳۱۱	۷۱۲۸	۲۷	۰/۲۷	۵۹۳/۰۵	−۵/۷۱	—	—
[ʃá]	—	—	۴۳۹۷/۹۸	۳۹/۶۳	۳۶/۳۶	—	—	۶۱/۵۹	۲۴۳۶/۲۵	۷۸۰۲/۲۵	۳۵/۶	۰/۲۷	۵۳۱	−۲/۷۷	—	—
[ce]	۲۸۵۸/۴۳	۳۹/۸۱	۳۸/۱۵	۴۶/۰۱	۵/۲۵	۴۲/۱۵	۴۵/۷۲	۲۲۱۲/۷۵	۶۰۲۷/۵	۱۰/۱	۱/۸۱	۰/۸۰	۴۴۲۹/۰۱	−۷/۰۱	—	—
[ca]	۱۹۹۶/۰۶	۱۸/۶۶	۲۱۱۸/۷۰	۳۵/۹۶	۳۶/۷۵	۴/۶۸	۳۱/۳۵	۴۶/۱۶	۱۹۷۷/۷۵	۴۱۶۴	۲۱/۹	۰/۸۰	۴۳۸۴/۷۵	−۲۲/۶	—	—
[kó]	۸۲۱/۴۶	۴۷/۶۹	۷۲۶/۷	۳۸/۶۳	۶۰/۰۷	۷/۲۵	۳۶/۴۱	۴۹/۶۲	۴۷۴/۵	۴۹۳۹/۷۵	۱۱/۳۱	۰/۹۰	۴۲۰۷//۳۳	−۱۵/۸	—	—
[kû]	۱۱۲۳/۸۳	۳۵/۵۹	۹۲۳/۸۲	۳۸/۵۸	۴۸/۱۶	۱۰/۷۵	۳۵/۴۸	۴۳/۹۸	۶۸۲	۴۳۴۹	۱۷/۶	۰/۳۰	۴۴۰۰/۲۰	−۲۴/۲۷	—	—
[sé]	۴۳۵۵/۸۶	—	۴۳/۲۷	—	—	—	۱۲۴/۷۵	۳۲۰۳	۹۳۷۳/۲۵	۷۷/۴	۰/۰۷	۰/۰۷	۵۴۹/۵۹	−۵/۰۲	—	—
[sá]	۴۹۴۵/۲۴	—	۳۶/۴۹	—	—	—	۱۰۵/۵۹	۳۶۲۱/۵	۹۷۸۶	۶۹/۴	۰/۰۶	۰/۰۶	۴۶۶۶/۴۸	۲/۹۷	—	—
[ʃé]	۴۴۱۹/۰۳	—	۴۰/۸۸	—	—	—	۱۲۱/۸۳	۲۱۲۷/۷۵	۷۴۰۰	۵۵	۰/۱۶	۰/۱۶	۵۲۹/۵۲	−۸/۲۱	—	—
[ʃá]	۳۹۹۶/۲۳	—	۳۹/۵۷	—	—	—	۱۰۳/۸۶	۲۲۳۸/۲۵	۷۳۲۷	۵۷/۶	۰/۱۲	۰/۱۲	۵۸۸۲/۰۹	−۹/۲۲	—	—
[se]	۴۶۱۰/۸۲	—	۳۶/۲۹	—	—	—	۱۱۰/۹۵	۳۴۱۳/۲۵	۹۷۵۵/۷۵	۳۱/۰۵	۰/۱۶	۰/۱۶	۵۳۴۵/۷۵	−۸/۵۲	—	—
[sa]	۴۸۳۸/۸۵	—	۳۷/۷۶	—	—	—	۹۲/۹۳	۲۲۰۴/۲۵	۹۵۳۳/۵۰	۶۰/۲۲	۰/۰۶	۰/۰۶	۴۷۰۰/۵۸	−۱۳/۳	—	—
[ʃe]	۳۲۹۴/۳۹	—	۴۱/۸۳	—	—	—	۱۱۴/۱۴	۲۲۸۹/۷۵	۷۱۴۸/۷۵	۵۲/۷۰	۰/۱۹	۰/۱۹	۴۷۱۸/۷۶	−۳/۲	—	—
[ʃa]	۳۴۱۶/۳۹	—	۴۱/۲۳	—	—	—	۸۶/۸۴	۲۴۳۰/۲۵	۷۵۵۶/۷۵	۴۲/۵۱	۰/۱۹	۰/۱۹	۴۷۰۹/۲۷	−۶/۶۲	—	—
[t.se]	۵۶۰۵/۹۷	—	۳۵/۲۹	—	—	—	۱۱۸/۰۶	۴۳۳۰/۵	۹۵۱۹/۲۵	۵۳/۸	۰/۱۵	۰/۱۵	۴۴۸۷/۶۴	−۱۶/۰۵	—	—
[t.sa]	۵۸۰۲/۳۸	—	۳۷/۱۰	—	—	—	۱۱۸/۷۳	۴۶۸۰/۷۵	۹۴۷۹/۲۵	۹۰/۴	۰/۰۶	۰/۰۶	۴۶۷۲/۶۰	−۱۳/۹۱	—	—
[t,ʃe]	۴۳۳۰/۱۷	—	۴۱/۸۸	—	—	—	۱۳۹/۶۲	۲۸۱۷	۷۷۷۴/۷۵	۷۴/۶	۰/۱۶	۰/۱۶	۴۶۵۶/۹۱	۰/۷۲	—	—
[t,ʃa]	۳۹۳۹/۹۴	—	۴۳/۱۶	—	—	—	۱۲۹/۳۶	۲۷۹۷	۸۴۵۵/۲۵	۵۶/۳	۰/۲۲	۰/۲۲	۳۴۳۲/۷۱	۲/۲۲	—	—
[e.t]	۲۶۹۵/۴۲	—	۲۱/۲۳	۲۷/۰۷	۱/۰۰	۲۷/۷۲	۷۵/۳۱	—	—	—	۴۶	۰/۰۲	—	—	۱۰۷۵/۹	−۲۵
[x.t]	۱۱۶۷/۷۳	—	۳۰/۶۰	—	—	—	۱۲۲/۰۹	—	—	—	۴۰	۰/۱	—	—	۱۰۷۸/۵	−۴/۵

بر مبنای آزمون تی نمونه‌های مستقل **پیوست ۲.** جداول معناداری آماری اختلاف میانگین پارامترهای صوت‌شناختی



استناد به این مقاله: خداوردی، فهیمه، مدرسی قوامی، گلناز و منشی‌زاده، مجتبی. (۱۴۰۲). تضعیف همخوان /k/ در تاریخ زبان فارسی از دیدگاه واج‌شناسی آزمایشگاهی. *علم زبان*، ۱۰ (۱۷)، ۳۷ـ۸۲. doi: 10.22054/LS.2020.46542.1270

Language Science is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International License.