فصلنامهٔ علمی - پژوهشی زبان‌پژوهی دانشگاه الزهرا(س)
سال نهم، شمارهٔ ۲۴، پاییز ۱۳۹۶

# بررسی صوت‌شناختی ناحیهٔ بسامدی پادسازه در خیشومی‌های زبان فارسی[۱]

زینب جعفری[۲]
بتول علی‌نژاد[۳]

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۱۸
تاریخ تصویب: ۹۵/۷/۷

## چکیده

*همخوان‌های خیشومی که جزو همخوان‌های رسا هستند، تقریباً در تمامی زبان‌های دنیا حضور دارند. از لحاظ صوت‌شناختی، این همخوان‌ها دارای چندین ویژگی می‌باشند که از جمله می‌توان به شکل‌گیری پادسازه در آنها اشاره کرد. این تحقیق، با هدف شناسایی ناحیهٔ بسامدی شکل‌گیری پادسازه در خیشومی‌های زبان فارسی، تعداد ۱۱۷۰ طیف از دو خیشومی [m] و [n] تولیدشده توسط سه گویشور زن و سه گویشور مرد بزرگ‌سال فارسی‌زبان را مورد بررسی قرار داده است. با استفاده از نرم‌افزار اسپیچ استودیو، طیف‌های FFT و LPC این دو خیشومی*

---

[۱] شناسه دیجیتال (DOI): 10.22051/JLR.2016.2438

[۲] کارشناس ارشد رشتهٔ زبان‌شناسی همگانی، دانشگاه اصفهان (نویسندهٔ مسئول)؛ z.jafari64@yahoo.com
[۳] دانشیار گروه زبان‌شناسی، دانشگاه اصفهان؛ b.alinezhad@fgn.ui.ac.ir

*استخراج و ناحیهٔ بسامدی شکل‌گیری پادسازه در آنها بر مبنای معیار شدت سازه‌ها مشخص شده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اگرچه شکل‌گیری پادسازه در تولید خیشومی‌های زبان فارسی امری ثابت نیست ولی با این وجود حضور پادسازه در سه ناحیهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم، سازهٔ دوم و سوم و سازهٔ سوم و چهارم این همخوان‌ها مشهود است.*

**واژه‌های کلیدی**: *خیشومی، پادسازه، شدت، طیف LPC*

## ۱. مقدمه

همخوان‌های خیشومی[1] در طبقهٔ همخوان‌های رسا قرار می‌گیرند و از جهانی‌های زبان محسوب می‌شوند. تقریباً[2] تمام زبان‌های دنیا در نظام آوایی خود از طبقهٔ همخوان‌های خیشومی برخوردارند (آشبی[3]، ۲۰۱۲: ۵۲). در تولید این دسته از همخوان‌ها گذرگاه دهانی در نقطه‌ای مسدود می‌گردد و هوای ششی برون‌سوی با پایین آمدن ملاز، زبان کوچک، و یکپارچه شدن حفره‌های حلق و بینی بدون برخورد با هیچ مانعی از حفره‌های بینی عبور می‌کند. از آنجا که حفره‌های بینی در تولید این آواها نقش بازخوان را به عهده دارند، بنابراین کیفیت آوایی این همخوان‌ها با همخوان‌های دهانی به کلی متفاوت است. در اکثر زبان‌ها هنگام تولید این همخوان‌ها تارآواها در حالت ارتعاش و در واقع در حالت تولید واک هستند. بنابراین همخوان‌های خیشومی همگی واک‌دارند[4] (آشبی، ۲۰۱۲: ۵۳؛ ثمره، ۱۳۶۴: ۷۱).

از لحاظ صوت‌شناختی، در تولید آواهای خیشومی با پایین آمدن ملاز سه حفرهٔ حلق، دهان و بینی در محل نرم‌کام با هم جفت می‌شوند. شکل ۱الف، سه حفرهٔ شرکت‌کننده در

---

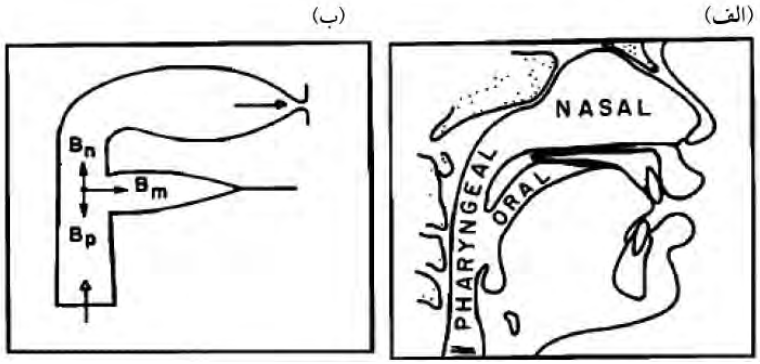
[1] nasal consonants

[2] از آن جهت از واژه‌ی «تقریباً» استفاده می‌شود، چون مدیسون (۲۰۱۳) سیزده زبان (۰/۰۴ درصد) از ۲۶۵۰ زبان ثبت‌شده در اطلس جهانی اینترنتی ساختارهای زبانی (World Atlas of Language Structure Online) را نام می‌برد و بیان می‌کند که این زبان‌ها فاقد همخوان‌های خیشومی هستند (آشبی، ۲۰۱۲: ۵۳). زبان‌هایی چون پیراهایی (Pirahã) در برزیل و رتوکاسی (Rotokas) در پاپوآ گینه نو از این دسته زبان‌ها هستند.

[3] Ashby

[4] voiced

تولید آواهای خیشومی را نشان می‌دهد. جفت‌شدگی سه حفرهٔ مذکور در شکل ۱ب (مدل سه‌لوله‌ای مجرای صوتی در تولید خیشومی‌ها) نشان داده شده است.




**شکل ۱:** الف. نمایی از مجرای صوتی در تولید خیشومی [n] و ب. مدل سه‌لوله‌ای مجرای صوتی در تولید این خیشومی (برگرفته از فوجی مورا، ۱۹۶۲: ۱۸۶۵)

با توجه به شیوهٔ متفاوت تولید همخوان‌های خیشومی نسبت به همخوان‌های دهانی، از لحاظ صوت‌شناختی ویژگی‌هایی کلی و همگانی برای آنها قائل شده‌اند که از جمله می‌توان به شکل‌گیری پادسازه[1] در تولید این طبقه از همخوان‌ها اشاره کرد. پادسازه‌ها، سازه‌هایی هستند که در مجرای صوتی فرعی شکل می‌گیرند و سبب تضعیف سازه‌های اصلی آوا می‌شوند. به‌طور کلی، پادسازه از نظر صوتی یک ناحیهٔ بسامدی در مجاورت یک سازه یا در حدفاصل دو سازه (معمولاً سازهٔ اول و دوم) است که انرژی آن کمینه است. پادسازه‌ها در طیف‌نگاشت به‌صورت دره‌هایی از موج صوتی مشاهده می‌شوند (جانسون[2]، ۲۰۰۳: ۹۶؛ بی‌جن‌خان، ۱۳۹۲: ۲۰۹).

برخلاف زبان فارسی، طبقهٔ همخوان‌های خیشومی در زبان‌های دیگر به‌ویژه زبان انگلیسی در حوزهٔ صوت‌شناختی[3] و در زمینه‌های مختلف از جمله تولیدی، ادراکی و شناختی، مورد بررسی‌های بسیار قرار گرفته است. پادسازه نیز بخشی از موضوع این مطالعات می‌باشد. در پژوهش‌های خارجی نام‌برده در این تحقیق، در خصوص پادسازه

[1] anti formant
[2] Johnson
[3] acoustic

فقط میانگین بسامد پادسازهٔ خیشومی‌ها بیان شده و به معیار و مبنای صوت‌شناختی در تعیین ناحیهٔ بسامدی آنها اشاره‌ای نشده است. لذا این تحقیق علاوه بر تعیین میانگین بسامد پادسازهٔ خیشومی‌های [m] و [n] در زبان فارسی به‌دنبال پاسخ این پرسش است که پادسازهٔ خیشومی‌های این زبان در چه ناحیهٔ بسامدی به وجود می‌آید. از این رو با این فرض که پادسازهٔ خیشومی‌های زبان فارسی حد فاصل سازهٔ اول و دوم تشکیل می‌شود (لده‌فوگد[1] و مدیسن[2]، ۱۹۹۶: ۱۱۷)، به بررسی طیف‌هایی از این دو خیشومی می‌پردازد.

در ادامه به بررسی ویژگی‌های صوت‌شناختی خیشومی‌ها پرداخته می‌شود. در بخش سوم به پیشینهٔ تحقیق پرداخته خواهد شد. در بخش چهارم این مقاله روش تحقیق بیان می‌شود. بخش پنجم به بررسی ناحیهٔ بسامدی وقوع پادسازه در خیشومی‌های زبان فارسی اختصاص دارد و بخش ششم شامل نتیجه‌گیری می‌باشد.

## ۲. ویژگی‌های صوت‌شناختی خیشومی‌ها

به‌طور کلی برای همخوان‌های خیشومی از لحاظ صوت‌شناختی چهار ویژگی ذیل را قائل شده‌اند (فوجی مورا[3]، ۱۹۶۲: ۱۸۷۴؛ ریکازنس[4]، ۱۹۸۲: ۱۹۱؛ لده‌فوگد و مدیسون، ۱۹۹۶: ۱۱۶؛ جانسون، ۲۰۰۳: ۱۵۷-۱۴۹ ؛ ریتس[5] و جانگمن[6]، ۲۰۰۹: ۱۹۵-۱۹۴):

۱. سازهٔ اول خیشومی‌ها که سازهٔ خیشومی[7] نیز نامیده می‌شود، از بسامد بسیار پایینی در حدود ۳۰۰-۲۵۰ هرتز برخوردار است. دلیل این امر را زیاد بودن طول مجرای صوتی (تعامل سه مجرای حلق، دهان و بینی) در تولید خیشومی‌ها در مقایسه با آواهای دهانی می‌دانند (فوجی‌مورا، ۱۹۶۲: ۱۸۷۴؛ ریکازنس، ۱۹۸۲: ۱۹۱). همچنین میزان شدت[8] این سازه در مقایسه با سایر سازه‌ها که در بسامدهای بالاتر بازآوایی[9] می‌شوند، بسیار بیشتر است. به عبارتی دیگر، سازه‌های بالاتر شدت کمی دارند. علت این ویژگی خیشومی‌ها را

---

[1] Ladefoged
[2] Maddieson
[3] Fujimura
[4] Recasens
[5] Reetz
[6] Jongman
[3] nasal formant
[8] intensity
[9] resonance

طولانی بودن مجرای صوتی و جذب انرژی صوتی توسط دیواره‌های نرم آن می‌دانند (لده‌فوگد و مدیسون، ۱۹۹۶: ۱۱۶؛ جانسون، ۲۰۰۳: ۱۵۲؛ پروسی[1] و ویلسون[2]، ۲۰۰۴: ۲۲۶). به گفتهٔ ریکازنس (۱۹۸۲: ۱۹۱)، پایین بودن میزان شدت سایر سازه‌های خیشومی‌ها، به‌خصوص سازهٔ دوم، نسبت به سازهٔ اول باعث می‌شود که در درک این همخوان‌ها از اهمیت کمی برخوردار باشند.

۲. به علت عبور هوا از مجرای باریک خیشوم، سازه‌های خیشومی‌ها ضعیف و دارای دامنهٔ کمی هستند. عموماً همخوان‌های خیشومی نسبت به واکه‌های مجاور خود از دامنهٔ پایین‌تری برخوردارند و در واقع ضعیف‌تر هستند. علت این امر را تا حدودی می‌توان به طولانی بودن مجرای صوتی در تولید خیشومی‌ها نسبت داد که باعث میراتر شدن سازه‌ها می‌شود. اما برای این ضعف دو دلیل مهم‌تر وجود دارد که عبارتند از: (۱) مجرای صوتی خیشومی‌ها دارای حفره‌های جانبی مثل سینوس‌ها می‌باشد و (۲) مجرای صوتی خیشومی‌ها (مخصوصاً در ابتدای حفرهٔ بینی) نسبت به واکه‌ها تنگ‌تر و باریک‌تر است (جانسون، ۲۰۰۳: ۱۵۲). بنابر یافته‌های دلاتر[3] (۱۹۵۸، به‌نقل از ریکازنس ۱۹۸۲: ۱۹۱) میزان شدت سازهٔ اول (F1) و همچنین میزان شدت سازه‌های دیگر (.... F2, F3, F4) در خیشومی‌ها به‌ترتیب ۶ دسی بل برای سازهٔ اول و ۱۵ دسی بل برای سایر سازه‌ها کم‌تر از شدت کلی سازه‌های یک واکه است.

۳. به‌علت جذب انرژی صوتی توسط دیواره‌های مجرای دهانی و حفرهٔ بینی، تمرکز سازه‌ها در محدوده بسامدی ۴۰۰۰-۳۰۰ هرتز می‌باشد و همچنین سازه‌ها از پهنای باند[4] زیادی برخوردارند (ریکازنس، ۱۹۸۲: ۱۹۱).

اصولاً دیواره‌های نرم مجرای صوتی و همچنین اینرسی[5] هوا در داخل و خارج از مجرای صوتی مقداری از انرژی صوتی را جذب می‌کنند و از میزان شدت کلی موج چاکنایی می‌کاهند. بنابراین سازه‌های بازآوایی‌شده در مجرای صوتی به‌علت همین خاصیت میرایی‌بخشی مجرای صوتی از پهنای باند خاصی برخوردار هستند. هر اندازه

[1] Pruthi
[2] Wilson
[3] Delattre
[9] bandwidth
[5] inertia

خاصیت میرایی‌بخشی مجرای صوتی به موج صوتی بیشتر باشد، قله‌های تولیدشده نیز پهن‌تر هستند. اگر دیواره‌های مجرای صوتی سخت بودند و به‌جای جذب انرژی صوتی باعث بازتاب آن می‌شدند، سازه‌ها دارای پهنای باند بسیار کم‌تری بودند. از آنجایی که در تولید آواهای خیشومی مجرای صوتی با خیشوم باز از فضای سطحی بیشتر و حجم زیادتری برخوردار است، پهنای باند سازه‌های این آواها بیشتر از آواهای غیر خیشومی است (جانسون، ۲۰۰۳: ۱۵۱).

۴. در تولید خیشومی‌ها به‌علت جفت‌شدگی یا تعامل دو مجرای دهانی و خیشومی، پادسازه‌ها نیز حضور دارند.

از آنجایی که مجرای دهان در تولید خیشومی‌ها به‌عنوان یک مجرای جانبی عمل می‌کند و از سوی دیگر به‌علت انسداد ایجادشده در آن مستقیماً با فضای بیرون ارتباط ندارد، بنابراین بسامدهای بازآوایی‌شده در آن به‌طور مستقیم در طیف خیشومی دیده نمی‌شوند. در واقع، بسامدهایی از موج چاکنایی که به بسامدهای بازآوایی حفرهٔ دهان به‌عنوان حفرهٔ جانبی نزدیک هستند، به‌وسیلهٔ حفرهٔ جانبی جذب و در آن تشدید می‌شوند بدون این که در بازده صوت‌شناختی مجرای صوتی (طیف خروجی) اثری آشکار از خود به جای بگذارند. به بسامدهای بازآوایی‌شده در حفرهٔ جانبی پادسازه می‌گویند. پادسازه‌ها در طیف صوتی به‌صورت دره‌هایی از موج صوتی مشاهده می‌شوند و بسامدهای آنها با توجه به طول مجرای دهانی متغیر هستند. میزان بسامد پادسازه‌ها با عقب کشیده شدن جایگاه تولید خیشومی و کاهش طول مجرای دهانی افزایش می‌یابد. از این رو بسامد پادسازه‌ها سرنخی برای جایگاه تولید خیشومی‌ها محسوب می‌شوند (لده‌فوگد و مدیسون، ۱۹۹۶: ۱۱۶ ؛ جانسون، ۲۰۰۳: ۱۵۵-۱۵۴). علاوه بر این، تفاوت‌های فردی در اندازه و شکل مجرای دهانی منجر به ایجاد تفاوت‌های بینافردی در بسامد پادسازه‌ها نیز می‌شود (ریتس و جانگمن، ۲۰۰۹: ۱۹۵). بُردن و همکاران[1] (۲۰۰۳: ۱۰۶، به‌نقل از بی‌جن‌خان، ۱۳۹۲: ۲۰۸) علت ظهور پادسازه را در طیف بسامدی، علاوه بر گرفتگی در حفرهٔ دهان، ناشی از تضعیف انرژی خیشومی‌ها در اثر عبور جریان هوا از بینی می‌دانند.

[1] Borden

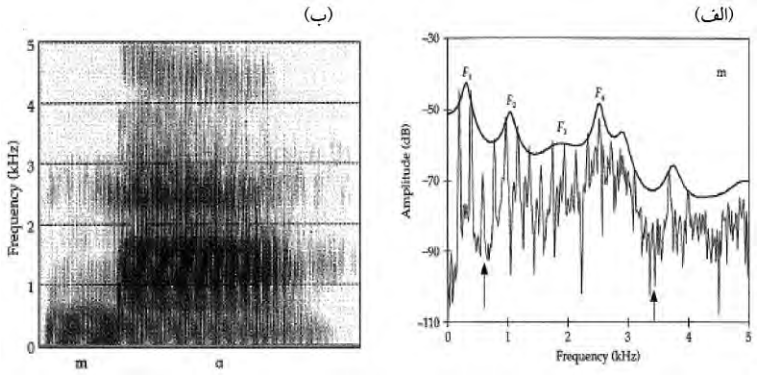
پادسازه بر دامنهٔ (شدت) تمام سازه‌های بالاتر از خود تأثیر می‌گذارد و آنها را کاهش می‌دهد. فانت[1] (۱۹۶۰، به‌نقل از جانسون، ۲۰۰۳: ۱۵۴) کاهش دامنهٔ سازه‌های بالایی توسط پادسازه را حدود ۱/۶ دسی‌بل در اکتاو تخمین زده است.

علاوه بر مجرای دهان، سینوس‌های خیشومی نیز مجراهای جانبی دیگری هستند که در مجرای صوتی خیشومی‌ها وجود دارند و حضور آنها منجر به تولید پادسازه می‌شود. سینوس‌ها همانند بازآواگر هلمولتز[2] عمل می‌کنند، بنابراین بسامدهای بازآوایی آنها، به عبارتی دیگر بسامد پادسازه‌هایی که تولید می‌کنند، به حجم و میزان باز بودن آنها بستگی دارد. اندازه و میزان باز بودن سینوس‌ها در افراد متفاوت است. بنابراین تخمین بسامد پادسازهٔ سینوس‌ها دشوار است (جانسون، ۲۰۰۳: ۱۵۷). لیندکویست- گافین[3] و ساندبرگ[4] (۱۹۷۶، به‌نقل از جانسون، ۲۰۰۳: ۱۵۷) میزان بسامد پادسازهٔ سینوس‌های ماکسیلاری[5] و فرانتال[6] (یا پیشانی) را در یک گویشور به‌ترتیب حدود ۵۰۰ و ۱۴۰۰ هرتز محاسبه کرده‌اند.

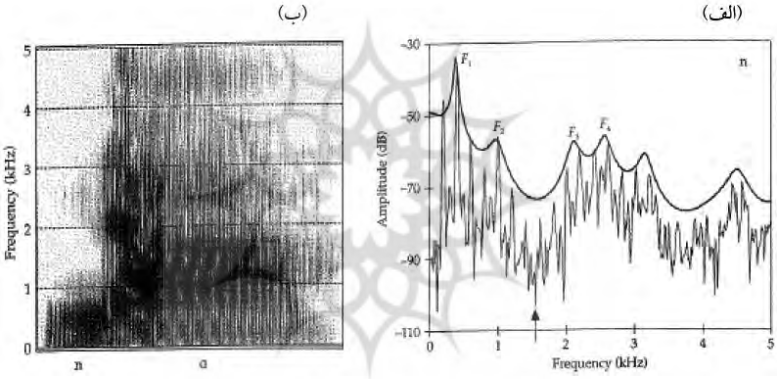
شکل‌های ۲ و ۳ طیف FFT[7] و LPC[8] و طیف‌نگاشت خیشومی‌های [m] و [n] در کلمه‌های [mɑ] به معنی «آمدن» و [nɑ] به‌معنی «شالیزار» تولیدشده توسط یک گویشور زن تایلندی را نشان می‌دهد. پادسازه‌های این دو خیشومی در طیف FFT آنها با پیکان‌هایی نشان داده شده‌اند. به گفتهٔ جانسون (۲۰۰۳: ۱۵۷) پادسازه‌ها نوعی عدم هماهنگی بین طیف LPC و طیف فوریه ایجاد می‌کند زیرا تحلیل LPC بر این فرض است که صافی مجرای صوتی پادسازه‌ای تولید نمی‌کند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

[1] Fant
[2] Helmholtz resonator
[3] Lindqvist-Gauffin
[4] Sundberg
[5] maxillary
[6] frontal
[7] Fast Fourier Transformation (FFT)
[8] Linear Predictive Coding (LPC)




**شکل ۲:** طیف FFT، LPC و طیف‌نگاشت کلمهٔ تایلندی [mɑ]
(برگرفته از جانسون، ۲۰۰۳: ۱۵۸)




**شکل ۳ :** طیف FFT، LPC و طیف‌نگاشت کلمهٔ تایلندی [nɑ]
(برگرفته از جانسون، ۲۰۰۳: ۱۵۹)

نکتهٔ دیگری که بیان آن حائز اهمیت است، ذکر تفاوت بین پادبازآوایی فعال[1] و بازآوایی غیرفعال[2] می‌باشد. در طیف واکه‌ها نیز دره‌هایی قابل مشاهده است اما این دره‌ها ناشی از عدم حضور سازه می‌باشد. در واقع در این مناطق دامنهٔ برخی از بسامدها به اندازهٔ دامنهٔ بسامدهای دیگر تشدید و تقویت نمی‌شوند؛ در صورتی که در خیشومی‌ها برخی از بسامدها به‌طور فعال از طیف خیشومی حذف می‌شوند (جانسون، ۲۰۰۳: ۱۵۴). به عبارتی دیگر، در خیشومی‌ها امواج اصلی آن دسته امواجی هستند که از لولهٔ حلق- بینی می‌گذرند

[1] active anti-resonance
[2] passive lack of resonance

و امواج بازتابی امواجی هستند که در حفرهٔ دهان تشدید می‌شوند. بازتاب حفرهٔ دهان دقیقاً در فاز مخالف بسامدهای بازآوایی‌شدهٔ لولهٔ حلق- بینی است. بنابراین وقتی یک موج مثبت و موج دیگر منفی باشد، هنگامی که با هم جمع می‌شوند یکدیگر را خنثی می‌کنند (علی-نژاد و حسینی بالام، ۱۳۹۱: ۱۸۰).

## ۳. پیشینهٔ تحقیق

فوجی‌مورا (۱۹۶۲) دلیل وجود پادسازه را در طیف خیشومی‌ها به وجود حفرهٔ جانبی دهان نسبت می‌دهد و بیان می‌کند که بسامد پادسازه‌ها با توجه به جایگاه تولید آنها متفاوت می‌باشد. او با تحلیل صوت‌شناختی همخوان‌های خیشومی زبان انگلیسی بسامد پادسازه‌ها را برای خیشومی [m] در حدود ۱۲۵۰-۷۵۰ هرتز، برای خیشومی [n] در حدود ۲۲۰۰-۱۴۵۰ هرتز و برای خیشومی [ŋ] بالای ۳۰۰۰ هرتز می‌داند. او بیان می‌کند که اگر چه بسامد پادسازه‌های خیشومی‌ها با توجه به جایگاه تولید آنها متفاوت است، ولی طیف خیشومی‌ها از لحاظ ظاهری بسیار به هم شبیه هستند. بنابر یافته‌های فوجی‌مورا زمانی که آواهای خیشومی قبل از یک واکهٔ پیشین قرار بگیرند، میزان بسامد پادسازه برای آنها نسبتاً بالا می‌باشد و زمانی که این آواها قبل از یک واکهٔ پسین قرار بگیرند، میزان بسامد پادسازه کم‌تر می‌باشد.

جاسم[1] (۱۹۷۳، به‌نقل از ریکازِنس، ۱۹۸۲: ۱۹۳) در بررسی خیشومی‌های زبان لهستانی شامل [m]، [n]، [ɲ] و [ŋ]، میزان بسامد پادسازهٔ خیشومی‌های این زبان را به‌ترتیب ۸۰۰، ۱۴۵۰، ۲۷۵۰ و بالای ۳۸۰۰ هرتز گزارش می‌دهد.

ریکازِنس (۱۹۸۲) با بررسی صوت‌شناختی چهار همخوان خیشومی زبان کاتالان[2] در شمال شرق اسپانیا، شامل [m]، [n]، [ɲ] و [ŋ]، بسامد پادسازهٔ خیشومی‌های این زبان را به‌ترتیب ...، ۱۷۸۰، ۲۶۵۰ و ۳۷۰۰ هرتز بیان می‌کند. وی همچنین در پیشینهٔ مطالعهٔ خود به بررسی صورت‌گرفته توسط فانت (۱۹۶۰) بر خیشومی‌های زبان روسی شامل [m]، [n]، [ɲ] و [ŋ] اشاره می‌کند و بنابر فانت میزان بسامد پادسازهٔ خیشومی‌های این زبان را به‌ترتیب ۵۵۰، ۱۸۰۰، ۲۲۰۰ و.... گزارش می‌دهد.

---

[1] Jassem
[2] Catalan

همان‌گونه که از مطالعات فوق بر می‌آید، با عقب رفتن محل تولید به میزان بسامد پادسازهٔ آنها افزوده می‌شود.

به‌گفتهٔ فرای[1] ( ۱۹۷۹) گسترهٔ بسامدی که تحت‌تأثیر پادسازهٔ خیشومی‌ها قرار می‌گیرد، معمولاً با گسترهٔ بسامدی سازهٔ دوم اکثر صداهای واکه‌ای یکسان است. این گسترهٔ بسامدی از ۸۰۰ هرتز شروع می‌شود و تا ۲۰۰۰ هرتز ادامه می‌یابد. از نظر او در هجاهایی که یک واکه بلافاصله قبل یا بعد از یک همخوان خیشومی قرار دارد، دو تأثیر مشخص پادسازه بر الگوی طیف‌نگاشت قابل شناسایی است: (۱) شدت سازهٔ اول همخوان خیشومی کم‌تر از واکهٔ مجاور می‌باشد و (۲) گذار سازهٔ دوم از واکه به همخوان خیشومی تغییرات کم و بیش ناگهانی را در بردارد، به‌طوری که این تغییرات از سطح بالای انرژی (برای واکه) به سطح بسیار پایین انرژی (برای همخوان خیشومی) صورت می‌گیرد.

لده‌فوگد و مدیسن (۱۹۹۶) با ارائهٔ تعریفی از پادسازه (صفر خیشومی) به‌عنوان عریض‌ترین افت انرژی در حد فاصل F1 و F2 و با محاسبهٔ میانگین بسامد پادسازه از طریق پنجره‌های ده‌میلی‌ثانیه‌ای که در میانهٔ بست خیشومی قرار دارند، به تعیین میانگین بسامد پادسازهٔ همخوان‌های خیشومی تیغه‌ای[2] در زبان آرنتهٔ شرقی[3]، زبانی در شمال استرالیا، می‌پردازند. آنها میانگین بسامد پادسازه را برای خیشومی‌های دندانی، لثوی، برگشته و لثوی-کامی در این زبان به‌ترتیب ۱۵۰۶، ۱۴۰۳، ۱۶۳۴ و ۲۰۹۴ هرتز به دست می‌آوردند و به این نتیجه می‌رسند که هر چه محل تولید به سمت عقب زبان پیش رود، با کاهش حجم حفرهٔ دهان، بسامد پادسازه افزایش می‌یابد. لده‌فوگد و مدیسن میزان بسامد بیشتر پادسازهٔ خیشومی دندانی نسبت به خیشومی لثوی را این گونه توجیه می‌کنند که احتمالاً در این زبان تولید خیشومی دندانی با برخورد تیغهٔ زبان به دندان‌های جلویی حاصل می‌شود که این خود باعث نزدیکی بدنهٔ زبان به سقف دهان و در عین حال کاهش حفرهٔ دهان می‌شود. آنها معتقدند، میزان کاهش حفرهٔ دهان در خیشومی دندانی نسبت به خیشومی لثوی بیشتر است و این خود دلیلی برای افزایش بسامد پادسازهٔ خیشومی دندانی است.

---

[1] Fry
[2] coronal nasals
[3] Eastern Arrernte

مطالعات صوت‌شناختی استیونس[1] (۱۹۹۹) بر همخوان‌های خیشومی زبان انگلیسی طول حفرهٔ دهان در تولید خیشومی دولبی، [m]، را حدود ۷ الی ۸ سانتی‌متر ذکر می‌کند و از این رو بسامد اولین پادسازه در این خیشومی را، برای یک فرد بالغ، در حدود ۱۲۰۰- ۱۰۰۰ هرتز و بسامد دومین پادسازه را سه برابر بسامد پادسازهٔ اول بیان می‌کند. او همچنین طول حفرهٔ دهان در تولید خیشومی لثوی، [n]، را کم‌تر از طول حفرهٔ دهان در تولید خیشومی دولبی، حدود ۵ الی ۶ سانتی‌متر، بیان می‌کند و بسامد اولین پادسازه در این خیشومی را، برای یک فرد بالغ، در حدود ۱۹۰۰- ۱۶۰۰ هرتز و بسامد دومین پادسازه را سه برابر بسامد پادسازهٔ اول نشان می‌دهد. مطالعهٔ استیونس برای خیشومی نرمکامی، [ŋ]، به‌علت طول بسیار کم حفرهٔ دهان در تولید این خیشومی، حداقل در منطقهٔ بسامدی زیر سه کیلوهرتز، پادسازه‌ای ثبت نمی‌کند.

جانسون (۲۰۰۳: ۱۵۲) تفاوت اصلی دو همخوان خیشومی [m] و [n] با خیشومی ملازی، [N]، را در این می‌داند که در تولید آنها یک لولهٔ جانبی، حفرهٔ دهان، در لولهٔ بازآوایی به وجود می‌آید؛ در حالی که مجرای صوتی در تولید خیشومی ملازی با پایین آمدن ملاز و برافراشته شدن بخش پسین بدنهٔ زبان یک لولهٔ نسبتاً یکنواخت است که در قسمت چاکنای بسته و در قسمت سوراخ‌های بینی باز است. طول حفرهٔ دهان در تولید [m]، ۸ سانتی‌متر است و پایین‌ترین بسامد بازآوایی آن ۱۰۹۴ هرتز و دومین بسامد بازآوایی آن ۳۲۸۱ هرتز است. طول این حفره در تولید [n]، ۵/۵ سانتی‌متر و بسامدهای بازآوایی آن حدود ۱۵۹۱ هرتز و ۴۷۷۳ هرتز می‌باشد. جانسون (۲۰۰۳: ۱۵۷-۱۵۵) بر اساس طول حفرهٔ دهان در تولید دو خیشومی [m] و [n] انتظار دارد که طیف [m] پادسازه‌ای در حدود ۱۱۰۰ هرتز و پادسازهٔ دیگری در حدود ۳۳۰۰ هرتز داشته باشد و طیف [n] پادسازه‌ای در حدود ۱۶۰۰ هرتز و پادسازهٔ دیگری در حدود ۴۸۰۰ هرتز داشته باشد. هر چند مشاهدات تجربی میزان بسامد اولین پادسازهٔ [m] و [n] را کم‌تر از میزان بسامد پیش‌بینی‌شده نشان می‌دهد. به‌طور کلی از نظر جانسون (۲۰۰۳: ۱۵۵) بسامد پادسازه‌ها می‌تواند کلید مناسبی در تعیین جایگاه تولید خیشومی‌ها باشد.

[1] Stevens

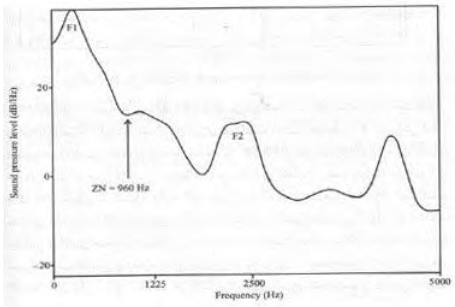
جانسون (۲۰۰۳: ۱۵۹-۱۵۷) همچنین به وجود پادسازه در زبان تایلندی اشاره می‌کند. او حضور اولین پادسازه در خیشومی [m] را در بسامد زیر ۱۰۰۰ هرتز و اولین پادسازه در خیشومی [n] را در بسامد بالای ۱۰۰۰ هرتز نشان می‌دهد.

در هر دو زبان انگلیسی و تایلندی بسامد اولین پادسازه در خیشومی [m] کم‌تر از بسامد اولین پادسازه در خیشومی [n] است.

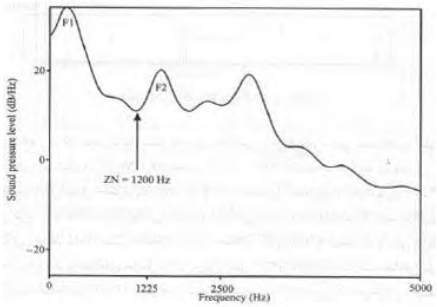
باید افزود، جانسون (۲۰۰۳، ۱۵۷) برای تعیین میزان بسامد پادسازه‌ها تکنیکی را ارائه می‌دهد که در آن با پالایش موج صوتی و حذف سازه‌ها، پادسازه‌ها به‌صورت دره‌هایی در طیف صوتی خود را نشان می‌دهند. همان‌گونه که ذکر شد، در این روش فقط میزان بسامد پادسازه‌ها تعیین می‌شود ولی محدودهٔ دقیق آنها معین نمی‌گردد. در واقع، در این شیوه مشخص نمی‌شود که پادسازه دقیقاً در حدفاصل چه سازه‌هایی به وجود آمده است.

در مطالعهٔ علی‌نژاد و حسینی‌بالام (۱۳۹۱) بر خیشومی‌های زبان فارسی قطعیتی در مورد وجود پادسازه وجود ندارد. نتایج مطالعهٔ آنها مبتنی بر طیف‌های دو کلمهٔ «آمد» [ʔɑmad] و «خوردنی» [χordani] تولیدشده توسط یک گویشور می‌باشد که به گفتهٔ آنها به‌طور شاخص در زیر ۴۰۰۰ هرتز هیچ پادسازه‌ای در طیف LPC این گویشور مشاهده نشده است. بنابراین آنها بررسی این موضوع را به مطالعات دقیق‌تر بعدی موکول کرده‌اند. از نظر علی‌نژاد و حسینی‌بالام اگر پادسازه‌ای در خیشومی‌های زبان فارسی مشاهده نشود، این امر نشانگر آن است که میزان جفت‌شدگی صوت‌شناختی حفره‌ها در نحوهٔ تلفظ خیشومی‌های زبان فارسی به گونه‌ای است که بسامدهای بازآوایی حفرهٔ دهان سبب تضعیف سازه‌های حفرهٔ بینی نمی‌شوند.

بی‌جن‌خان (۱۳۹۲) با استناد به دو شکل ذیل ناحیهٔ بسامدی پادسازهٔ [m] و [n] زبان فارسی را در حدفاصل دو سازهٔ اول و دوم می‌داند. به گفتهٔ او میانگین بسامد پادسازهٔ [m] و [n] با روش میانگین‌گیری بسامد سازه‌ها در این ناحیه به‌ترتیب ۹۶۰ و ۱۲۰۰ هرتز به دست آمده است. بی‌جن‌خان به تکنیک به‌کارگرفته‌شده برای انتخاب این ناحیهٔ بسامدی اشاره نمی‌کند.




**شکل ٤:** ناحیهٔ بسامدی پادسازه برای [m]




**شکل ٥:** ناحیهٔ بسامدی پادسازه برای [n]

## ٤. روش تحقیق

همان‌گونه که ذکر شد، در این تحقیق سعی بر آن است تا علاوه بر تعیین میانگین بسامد پادسازهٔ خیشومی‌های زبان فارسی، ناحیهٔ بسامدی شکل‌گیری آنها نیز شناسایی شود. از این رو این پژوهش با این فرضیه که پادسازهٔ خیشومی‌های زبان فارسی در حد فاصل سازهٔ اول و دوم تشکیل می‌شود به بررسی ۱۱۷۰ طیف FFT و LPC از دو خیشومی [m] و [n] در بافت‌های پیش‌واکه‌ای، میان‌واکه‌ای، پس‌واکه‌ای و همچنین در مجاورت با همخوان‌ها، تولیدشده توسط سه گویشور زن و سه گویشور مرد بزرگ‌سال فارسی زبان در ردهٔ سنی ۳۰-۲۰ سال، پرداخته است. طیف‌های FFT و LPC این دو خیشومی توسط نرم‌افزار اسپیچ استودیو[1] مدل ۰. ۱. ۳. ۳ استخراج و ناحیهٔ بسامدی پادسازه در آنها بر مبنای معیار شدت سازه‌ها مشخص شده است. باید افزود عمل ضبط صدا در این تحقیق در محیطی آزمایشگاهی در اتاقک ضد صوت و توسط دستگاه حنجره نگار[2] صورت گرفته است.

## ٥. بررسی پادسازه در خیشومی‌های زبان فارسی

در این بخش ناحیهٔ بسامدی وقوع پادسازهٔ دو خیشومی زبان فارسی بررسی می‌شود. باید افزود که در این تحقیق فقط ناحیهٔ بسامدی وقوع پادسازهٔ اول این دو خیشومی مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجایی که در منابع مطالعه‌شده به شیوه و مبنای تعیین ناحیهٔ بسامدی وقوع پادسازه اشاره‌ای نشده است، لذا در این پژوهش میزان شدت سازه‌ها (در این

[1] Speech Studio
[2] Laryngograph

مطالعه افت ناگهانی شدت) مبنایی برای تعیین ناحیهٔ بسامدی وقوع پادسازه قرار می‌گیرد، زیرا همان‌گونه که در بخش دوم ذکر شد، پادسازه‌ها محصول تعامل یا جفت‌شدگی دو مجرای خیشومی و دهانی هستند و بر دامنهٔ تمام سازه‌های بالاتر از خود تأثیر می‌گذارند و آنها را کاهش می‌دهند.

به‌طورکلی شدت صوت با (مربع) دامنهٔ نوسان مولکول‌های در حال ارتعاش هوا در یک موج صوتی متناسب است و واحد اندازه‌گیری آن دسی‌بل می‌باشد (لیور، ۱۹۹۵: ۵۰۲-۵۰۱). شدت صوت به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های صوت‌شناختی یک ویژگی فیزیکی است و با احساس بلندی صوت که یک ویژگی فیزیولوژیک است، ارتباط مستقیم دارد. هر اندازه از میزان بلندی صدا کاسته شود، میزان شدت صوت نیز کاهش می‌یابد و به‌مراتب هر اندازه به میزان بلندی صدا افزوده شود، میزان شدت صوت نیز افزایش می‌یابد (علی‌نژاد و حسینی‌بالام، ۱۳۹۱: ۱۲-۱۱).

از آنجایی که در طیف موج صوتی حاصل از حنجره، در واقع همان موج چاکنایی، با افزایش بسامد از انرژی یا میزان شدت هماهنگ‌ها کاسته می‌شود[1] (مدرسی قوامی، ۱۳۹۰: ۱۳۱)، انتظار می‌رود در خیشومی‌ها که از آواهای رسا هستند و منبع تولید آنها واک است، با افزایش بسامد از شدت سازه‌ها، به‌ترتیب سازهٔ اول، سازهٔ دوم، سازهٔ سوم و...، یکی پس از دیگری کاسته شود. اما این تحقیق طیف‌هایی را نشان می‌دهد که در آنها افت ناگهانی شدت سازه مثلاً افت شدت سازهٔ دوم نسبت به سازهٔ سوم و یا سازهٔ چهارم نسبت به سازهٔ پنجم وجود دارد. همان‌طور که در ادامه بیان می‌شود، افت ناگهانی شدت سازه‌های خیشومی‌ها در این تحقیق به حضور پادسازه نسبت داده می‌شود. از این پس در این پژوهش افت ناگهانی شدت سازه‌ها، «معیار شدت» خوانده می‌شود.

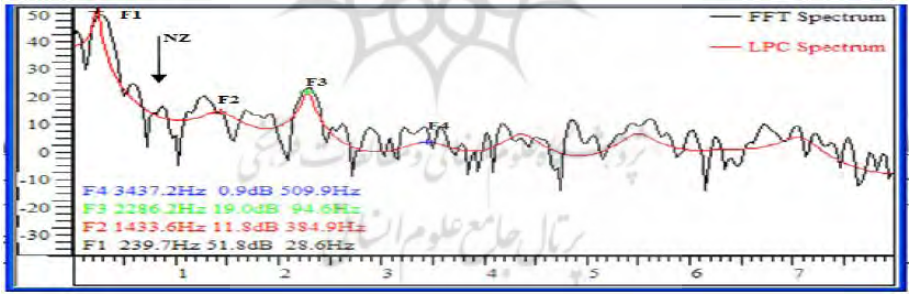
میانگین بسامد پادسازهٔ دو خیشومی [m] و [n] در این تحقیق از روش شناسایی سازهٔ دارای شدت نامتعارف و سپس میانگین‌گیری بسامد این سازه با بسامد سازهٔ ما قبل آن به دست می‌آید.

---

[1] میزان کاهش انرژی در طیف منبع حنجره ۱۲- دسی‌بل در اکتاو است، یعنی با هر دو برابر شدن بسامد، ۱۲- دسی‌بل از انرژی کاسته می‌شود (مدرسی قوامی، ۱۳۹۰: ۱۳۱).

همان‌گونه که ذکر شد، در این تحقیق در بررسی ناحیهٔ بسامدی وقوع پادسازهٔ خیشومی‌های زبان فارسی تعداد ۱۱۷۰ طیف مورد بررسی قرار گرفته است. از این تعداد کل بنابر معیار شدت، تعداد ۴۴۵ طیف، حدود ۳۸ درصد، دارای پادسازه و تعداد ۷۲۵ طیف، حدود ۶۱ درصد، بدون پادسازه بوده‌اند. در واقع، در طیف‌های دارای پادسازه افت ناگهانی شدت یک سازه نسبت به سازهٔ بعد، به‌ویژه افت شدت سازه‌های دوم و سوم، مشاهده می‌شود در حالی‌که در طیف‌های بدون پادسازه شدت سازه‌ها نه به‌طور ناگهانی بلکه به‌ترتیب با افزایش بسامد آنها کاهش پیدا می‌کند.

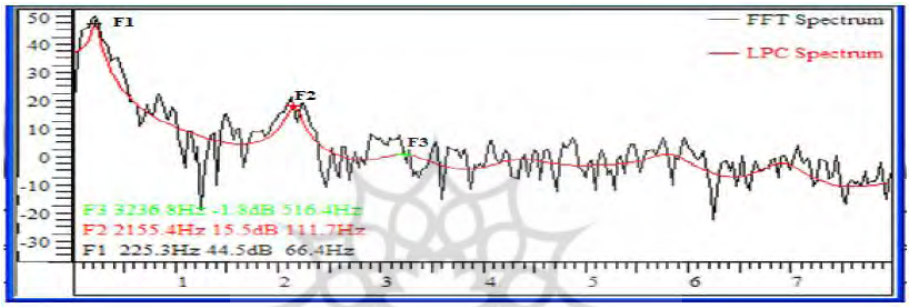
شکل ۶ طیف FFT و LPC خیشومی [m] در کلمهٔ «مهر»، [mehr]، تولیدشده توسط یک گویشور مرد فارسی‌زبان را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از طیف برمی‌آید، میزان شدت سازهٔ دوم (۱۱/۸ دسی‌بل) کم‌تر از میزان شدت سازهٔ سوم (۱۹ دسی‌بل) می‌باشد. کاهش ناگهانی شدت سازهٔ دوم نسبت به سازهٔ سوم را این‌گونه می‌توان توجیه کرد که در حد فاصل سازهٔ اول و دوم در بسامد ۸۳۶/۶۵ هرتز پادسازه‌ای وجود دارد که منجر به کاهش شدت سازهٔ بالاتر خود، در اینجا سازهٔ دوم، شده است.




**شکل ٦ :** طیف FFT و LPC خیشومی [m] در کلمهٔ «مهر»، [mehr]، تولیدشده توسط یک گویشور مرد فارسی‌زبان با پادسازه‌ای در حد فاصل سازهٔ اول و دوم. علامت پیکان محل وقوع پادسازه را نشان می‌دهد.

شکل ۷ طیف FFT و LPC دیگری از خیشومی [m] در کلمهٔ «مهر»، [mehr]، تولیدشده توسط یکی دیگر از گویشوران مرد این پژوهش را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از طیف برمی‌آید، میزان شدت سازه‌ها (به‌ترتیب ۴۴/۵، ۱۵/۵ و ۱/۸- دسی‌بل) به‌طور طبیعی با افزایش میزان بسامد آنها کاهش می‌یابد. همان‌گونه که در بخش دوم بیان شد،

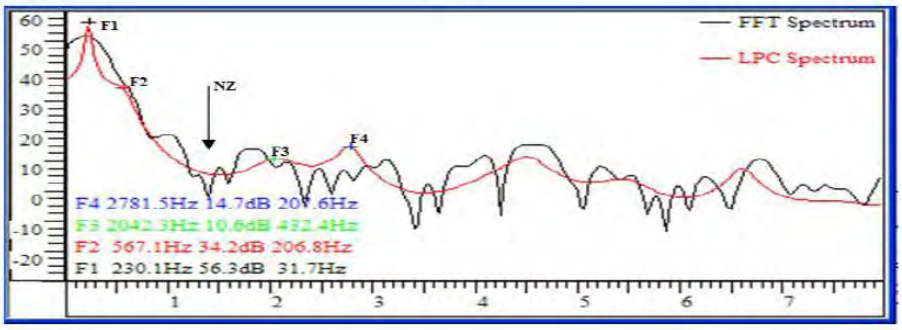
عموماً سازه‌های خیشومی‌ها ضعیف و دارای دامنهٔ کمی هستند. از سوی دیگر میزان شدت سایر سازه‌ها نسبت به میزان شدت سازهٔ اول بسیار پایین‌تر است. لذا در این طیف کاهش بسیار زیاد میزان شدت سازهٔ دوم و همین‌طور سازه‌های دیگر نسبت به سازهٔ اول پدیده‌ای طبیعی تلقی می‌شود و به حضور پادسازه نسبت داده نمی‌شود. بنابر معیار انتخاب‌شده (معیار شدت) در تعیین ناحیهٔ بسامدی وقوع پادسازه در این مطالعه، پادسازه‌ای در این طیف، حداقل زیر بسامد ۴۰۰۰ هرتز، مشاهده نمی‌شود.



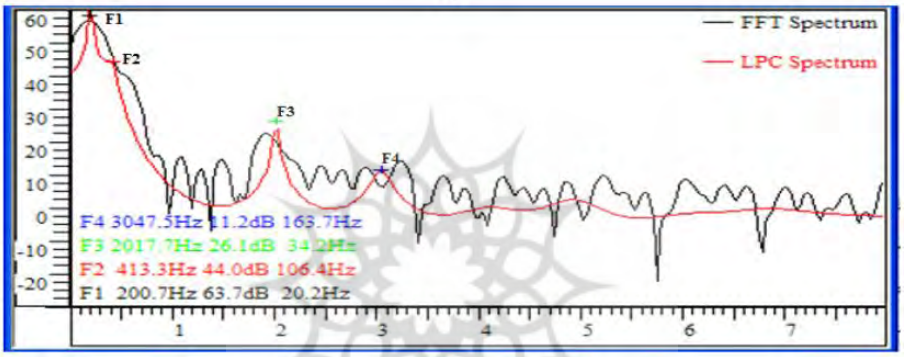

**شکل ۷ :** طیف FFT و LPC خیشومی [m] در کلمهٔ «مهر»[mehr]، تولیدشده توسط یک گویشور مرد فارسی‌زبان بدون پادسازه

شکل ۸ الف و ب، طیف‌هایی از خیشومی [n] در کلمهٔ «ناز»، [naz]، تولیدشده توسط دو گویشور زن فارسی‌زبان را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از طیف (الف) برمی‌آید، میزان شدت سازهٔ سوم (۱۰/۶ دسی‌بل) کم‌تر از میزان شدت سازهٔ چهارم (۱۴/۷ دسی‌بل) است. بنابراین احتمال داده می‌شود، پادسازه‌ای در ناحیهٔ بسامدی دو سازهٔ دوم و سوم در بسامد ۱۳۰۴/۷ هرتز وجود داشته باشد که منجر به کاهش میزان شدت سازهٔ سوم شده است. در حالی‌که در طیف (ب) میزان شدت سازه‌ها (به‌ترتیب ۶۳/۷، ۴۴، ۲۶/۱ و ۱۱/۲دسی‌بل) به‌طور طبیعی با افزایش میزان بسامد آنها کاهش یافته است و لذا بنابر معیار شدت در این تحقیق، پادسازه‌ای در این طیف مشاهده نمی‌شود.

(الف)

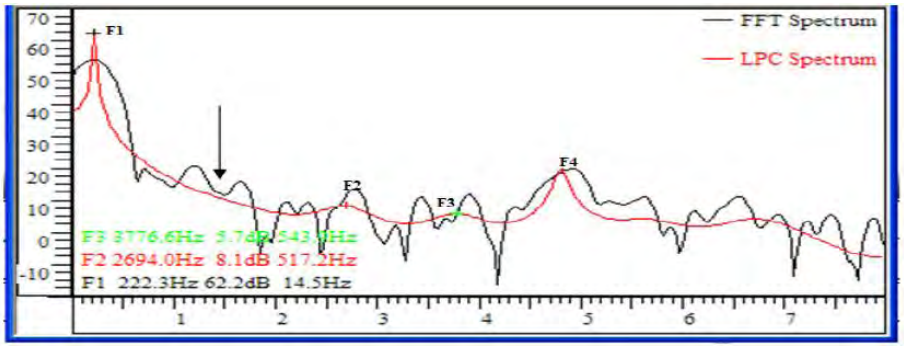



(ب)



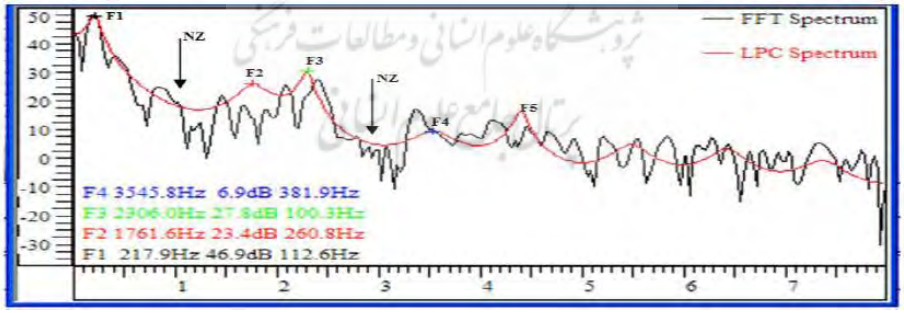

**شکل ۸ :** الف. طیف FFT و LPC خیشومی [n] در کلمهٔ «ناز» [naz]، تولیدشده توسط یک گویشور زن فارسی‌زبان با پادسازه‌ای در حد فاصل سازهٔ دوم و سوم. علامت پیکان محل وقوع پادسازه را نشان می‌دهد. ب. طیف FFT و LPC خیشومی [n] در همان کلمه تولیدشده توسط یکی دیگر از گویشوران زن بدون پادسازه.

شکل ۹ طیف FFT و LPC خیشومی [m] در کلمهٔ «سیم»، [sim]، تولیدشده توسط یک گویشور زن فارسی‌زبان را نشان می‌دهد. همان‌گونه که طیف نشان می‌دهد، میزان شدت سازهٔ دوم و سوم بسیار کم‌تر از میزان شدت سازهٔ چهارم می‌باشد. بنابراین احتمال داده می‌شود، پادسازه‌ای حد فاصل دو سازهٔ اول و دوم در بسامد ۱۴۵۸/۱۵ هرتز وجود دارد که میزان شدت دو سازهٔ بالاتر از خود را تحت‌تأثیر قرار داده و منجر به کاهش بسیار زیاد آنها نسبت به سازهٔ چهارم شده است.




**شکل ۹ :** طیف FFT و LPC خیشومی [m] در کلمهٔ «سیم» [sim]، تولیدشده توسط یک گویشور زن فارسی‌زبان با پادسازه‌ای در حد فاصل سازهٔ اول و دوم. علامت پیکان محل وقوع پادسازه را نشان می‌دهد.

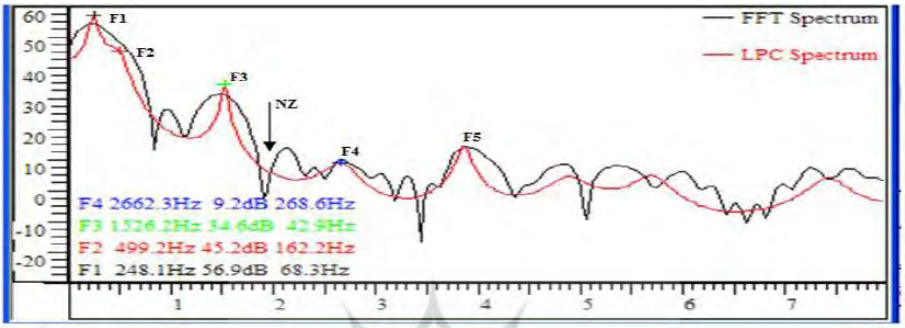
شکل ۱۰ طیف FFT و LPC خیشومی [n] در کلمهٔ «قند»، [Gand]، تولیدشده توسط یک گویشور مرد فارسی‌زبان را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در این طیف میزان شدت سازهٔ دوم (۲۳/۴ دسی‌بل) کم‌تر از میزان شدت سازهٔ سوم (۲۷/۸ دسی‌بل) و همین‌طور میزان شدت سازهٔ چهارم کم‌تر از میزان شدت سازهٔ پنجم می‌باشد. بنابراین احتمال وقوع دو پادسازه وجود دارد. پادسازهٔ اول در حد فاصل دو سازهٔ اول و دوم در بسامد ۹۸۹/۷۵ هرتز و پادسازهٔ دوم در حد فاصل دو سازهٔ سوم و چهارم در بسامد ۲۹۲۵/۹ هرتز تشکیل شده است.



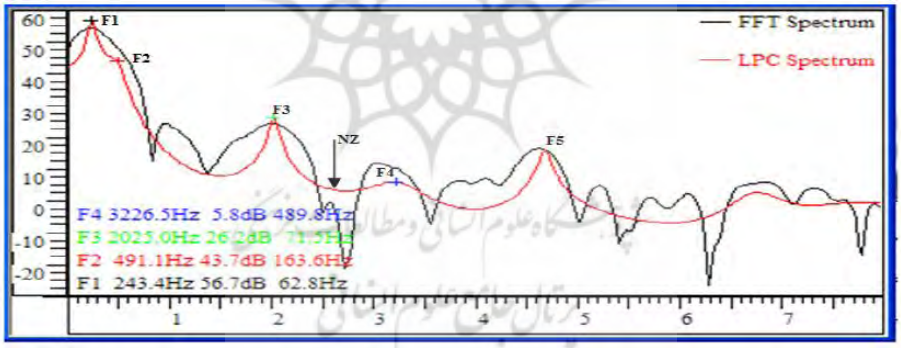

**شکل ۱۰:** طیف FFT و LPC خیشومی [n] در کلمهٔ «قند» [Gand]، تولیدشده توسط یک گویشور مرد فارسی‌زبان با دو پادسازه، یکی در حد فاصل سازهٔ اول و دوم و دیگری در حد فاصل سازهٔ سوم و چهارم

شکل ۱۱ طیف FFT و LPC خیشومی [m] در کلمهٔ «سمج»، [semedʒ]، و شکل ۱۲ طیف FFT و LPC خیشومی [n] در کلمهٔ «مانع»، [mɑneʔ]، تولیدشده توسط یک

گویشور زن فارسی‌زبان را نشان می‌دهد. در هر دو طیف میزان شدت سازهٔ چهارم کم‌تر از میزان شدت سازهٔ پنجم می‌باشد. بنابراین احتمال حضور پادسازه در حد فاصل سازهٔ سوم و چهارم در بسامد ۲۰۹۴/۲۵ هرتز برای خیشومی [m] و در بسامد ۲۶۲۵/۷۵ هرتز برای خیشومی [n] وجود دارد.




**شکل ۱۱:** طیف FFT و LPC خیشومی [m] در کلمهٔ «سمج» [semedʒ]، تولیدشده توسط یک گویشور زن فارسی‌زبان با پادسازه‌ای در حد فاصل سازهٔ سوم و چهارم

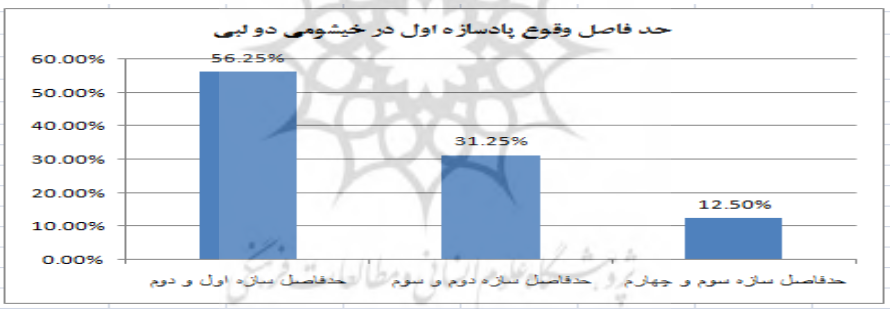



**شکل ۱۲:** طیف FFT و LPC خیشومی [n] در کلمهٔ «مانع» [mɑne?]، تولیدشده توسط یک گویشور زن فارسی‌زبان با پادسازه‌ای در حد فاصل سازهٔ سوم وچهارم

همان‌گونه که از مثال‌های فوق بر می‌آید، احتمال حضور پادسازه در دو خیشومی زبان فارسی در سه ناحیهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم، سازهٔ دوم و سوم و سازهٔ سوم و چهارم وجود دارد.

## ۵. ۱. بررسی حد فاصل وقوع پادسازه در خیشومی [m]

در این بخش به بررسی ناحیهٔ بسامدی وقوع پادسازه در خیشومی [m] زبان فارسی پرداخته می‌شود. در این تحقیق در رابطه با تعیین ناحیهٔ بسامدی وقوع پادسازه در خیشومی [m] تعداد ۱۹۲ طیف دارای پادسازه مورد بررسی قرار گرفته است. پادسازهٔ این خیشومی در ۱۰۸ طیف، حدود ۵۶/۲۵ درصد، در حد فاصل سازهٔ اول و دوم، در ۶۰ طیف، حدود ۳۱/۲۵ درصد، در حد فاصل سازهٔ دوم و سوم و در ۲۴ طیف، حدود ۱۲/۵۰ درصد، در حد فاصل سازهٔ سوم و چهارم تشکیل شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، میزان وقوع پادسازهٔ این خیشومی در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم بیشتر از دو ناحیه دیگر است. وقوع پادسازهٔ خیشومی [m] در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ سوم و چهارم از کم‌ترین میزان برخوردار است. شکل ۱۳ نمودار میله‌ای میزان وقوع پادسازهٔ خیشومی [m] در سه ناحیهٔ بسامدی مذکور را نشان می‌دهد.

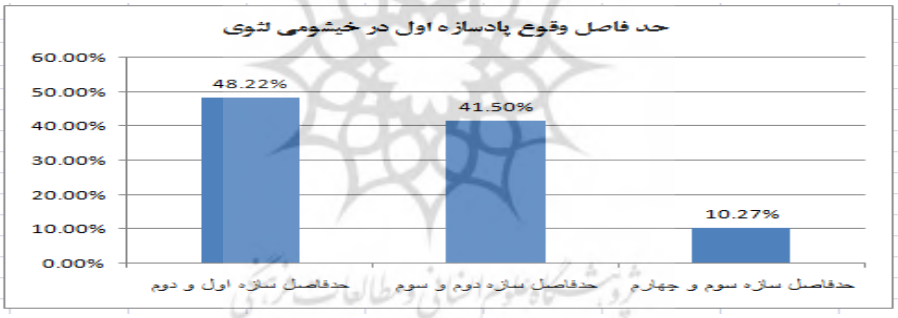



**شکل ۱۳:** نمودار میله‌ای میزان وقوع پادسازهٔ خیشومی [m] در سه ناحیهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم، سازهٔ دوم و سوم و سازهٔ سوم و چهارم

میانگین بسامد پادسازهٔ خیشومی [m] در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم ۱۱۹۶/۵۷ – ۷۷۹/۹ هرتز، در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ دوم و سوم ۲۵۵۷/۵۹ – ۱۵۳۷/۴۷ هرتز و در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ سوم و چهارم ۲۵۳۳/۷ هرتز می‌باشد.

## ۵. ۲. بررسی حد فاصل وقوع پادسازه در خیشومی [n]

در این بخش به بررسی ناحیهٔ بسامدی وقوع پادسازه در خیشومی [n] زبان فارسی پرداخته می‌شود. در این تحقیق در رابطه با تعیین ناحیهٔ بسامدی وقوع پادسازه در خیشومی [n] تعداد ۲۵۳ طیف دارای پادسازه مورد بررسی قرار گرفته است. پادسازهٔ این خیشومی در ۱۲۲ طیف، حدود ۴۸/۲۲ درصد، در حد فاصل سازهٔ اول و دوم، در ۱۰۵ طیف، حدود ۴۱/۵۰ درصد، در حد فاصل سازهٔ دوم و سوم و در ۲۶ طیف، حدود ۱۰/۲۷ درصد، در حد فاصل سازهٔ سوم و چهارم تشکیل شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، میزان وقوع پادسازهٔ این خیشومی در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم بیشتر از دو ناحیه دیگر است. وقوع پادسازهٔ خیشومی [n] در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ سوم و چهارم از کم‌ترین میزان برخوردار است. شکل ۱۴ نمودار میله‌ای میزان وقوع پادسازهٔ خیشومی [n] در سه ناحیهٔ بسامدی مذکور را نشان می‌دهد.




**شکل ۱۴:** نمودار میله‌ای میزان وقوع پادسازهٔ خیشومی [n] در سه ناحیهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم، سازهٔ دوم و سوم و سازهٔ سوم و چهارم

میانگین بسامد پادسازهٔ خیشومی [n] در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم ۱۱۰۳/۱۱–۸۵۸/۴۱ هرتز، در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ دوم و سوم ۲۶۵۶/۵۷ – ۱۴۰۸/۶۵ هرتز و در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ سوم و چهارم ۲۵۷۹/۱۴ هرتز می‌باشد.

## ۵. ۳. میانگین بسامد پادسازهٔ دو خیشومی زبان فارسی در مجاورت با واکه‌ها

در این بخش به بررسی میانگین بسامد پادسازهٔ دو خیشومی [m] و [n] در مجاورت با واکه‌های پیشین و پسین پرداخته می‌شود.

### ۵. ۳. ۱. میانگین بسامد پادسازهٔ خیشومی [m] در مجاورت با واکه‌ها

در این مطالعه در رابطه با میانگین بسامد پادسازهٔ خیشومی [m] در مجاورت با واکه‌های پیشین و پسین تعداد ۲۱۶ طیف مورد ارزیابی قرار گرفته است. از این تعداد کل، تعداد ۸۲ طیف، حدود ۳۷/۹۶ درصد، دارای پادسازه بوده‌اند. در ۴۷ طیف دارای پادسازه، حدود ۵۷/۳۱ درصد، خیشومی [m] در مجاورت با واکه‌های پیشین و در ۳۵ طیف دارای پادسازه، حدود ۴۲/۶۸ درصد، این خیشومی در مجاورت با واکه‌های پسین قرار داشته است.

میانگین بسامد پادسازهٔ خیشومی [m] در مجاورت با واکه‌های پیشین در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم حدود ۸۵۰ هرتز، در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ دوم و سوم حدود ۲۰۳۶ هرتز و در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ سوم و چهارم حدود ۲۴۴۷ هرتز می‌باشد.

میانگین بسامد پادسازهٔ خیشومی [m] در مجاورت با واکه‌های پسین در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم حدود ۸۲۸ هرتز، در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ دوم و سوم حدود ۱۷۸۸ هرتز و در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ سوم و چهارم حدود ۲۴۱۵ هرتز می‌باشد.

### ۵. ۳. ۲. میانگین بسامد پادسازهٔ خیشومی [n] در مجاورت با واکه‌ها

در این مطالعه در رابطه با میانگین بسامد پادسازهٔ خیشومی [n] در مجاورت با واکه‌های پیشین و پسین تعداد ۲۱۶ طیف مورد ارزیابی قرار گرفته است. از این تعداد کل، تعداد ۱۱۳ طیف، حدود ۵۲/۳۱ درصد، دارای پادسازه بوده‌اند. در ۵۲ طیف دارای پادسازه، حدود ۴۶/۰۱ درصد، خیشومی [n] در مجاورت با واکه‌های پیشین و در ۶۱ طیف دارای پادسازه، حدود ۵۳/۹۸ درصد، این خیشومی در مجاورت با واکه‌های پسین قرار داشته است.

میانگین بسامد پادسازهٔ خیشومی [n] در مجاورت با واکه‌های پیشین در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم حدود ۹۷۲ هرتز، در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ دوم و سوم حدود ۱۸۶۶ هرتز و در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ سوم و چهارم حدود ۲۴۵۶ هرتز می‌باشد.

میانگین بسامد پادسازهٔ خیشومی [n] در مجاورت با واکه‌های پسین در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم حدود ۹۲۴ هرتز، در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ دوم و سوم حدود ۱۹۹۹ هرتز و در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ سوم و چهارم حدود ۲۵۲۸ هرتز می‌باشد.

## ۵. ٤. نتایج

جدول ۱ میانگین بسامد پادسازهٔ دو خیشومی [m] و [n] را در سه ناحیهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم، سازهٔ دوم و سوم و سازهٔ سوم و چهارم گزارش می‌دهد.

**جدول ۱:** میانگین بسامد پادسازهٔ دو خیشومی [m] و [n] در سه ناحیهٔ بسامدی

| نوع خیشومی | حد فاصل سازهٔ سوم و چهارم | حد فاصل سازهٔ دوم و سوم | حد فاصل سازهٔ اول و دوم |
|---|---|---|---|
| M | 2533.7 | 1537.74-2557.59 | 779.9-1196.57 |
| n | 2579.14 | 1408.65-2656.57 | 858.41-1103.11 |

بنابر مطالب ذکرشده در بخش دوم، بسامد پادسازه‌ها بر اساس جایگاه تولید خیشومی‌ها متفاوت می‌باشند. در واقع، هر اندازه طول حفرهٔ دهان در تولید یک خیشومی بیشتر باشد، بسامد پادسازهٔ آن کم‌تر است. در این پژوهش بنابر نتایج جدول ۱، این مطلب در ارتباط با خیشومی‌های زبان فارسی نیز صادق است. مقایسهٔ بسامد پادسازهٔ دو خیشومی زبان فارسی نشان می‌دهد که حداقل در حد فاصل سازهٔ اول و دوم بسامد پادسازهٔ خیشومی [m] کم‌تر از بسامد پادسازهٔ خیشومی [n] است.

جدول ۲ میانگین بسامد پادسازهٔ دو خیشومی [m] و [n] را در مجاورت با واکه‌های پیشین و پسین گزارش می‌دهد.

**جدول ۲:** میانگین بسامد پادسازهٔ دو خیشومی [m] و [n] در مجاورت با واکه‌ها

| نوع خیشومی | نوع واکه | حد فاصل سازهٔ سوم و چهارم | حد فاصل سازهٔ دوم و سوم | حد فاصل سازهٔ اول و دوم |
|---|---|---|---|---|
| M | واکه‌های پیشین | 2447 | 2036 | 850 |
| | واکه‌های پسین | 2415 | 1788 | 828 |
| N | واکه‌های پیشین | 2456 | 1866 | 972 |
| | واکه‌های پسین | 2528 | 1999 | 924 |

بنابر آنچه که در بخش سوم بیان شد، یافته‌های فوجی‌مورا نشان می‌دهد، زمانی که آواهای خیشومی قبل از یک واکهٔ پیشین قرار بگیرند، میزان بسامد پادسازه برای آنها نسبتاً

بالا می‌باشد و زمانی که این آواها قبل از یک واکهٔ پسین قرار بگیرند، میزان بسامد پادسازه کم‌تر می‌باشد. در این مطالعه بنابر نتایج جدول ۲، این مطلب در ارتباط با خیشومی‌های زبان فارسی نیز صادق است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، میانگین بسامد پادسازهٔ خیشومی [m] در هر سه ناحیهٔ بسامدی در مجاورت با واکه‌های پیشین بیشتر از میانگین بسامد پادسازهٔ این خیشومی در مجاورت با واکه‌های پسین است. در ارتباط با خیشومی [n] نیز میانگین بسامد پادسازهٔ این خیشومی حداقل در حد فاصل سازهٔ اول و دوم در مجاورت با واکه‌های پیشین بیشتر از میانگین بسامد پادسازهٔ آن در مجاورت با واکه‌های پسین است.

## ٦. نتیجه‌گیری

بنابر مطالب ذکر شده در بخش‌های قبل، نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه بر مبنای ۱۱۷۰ طیف FFT و LPC از دو خیشومی [m] و [n] در زبان فارسی می‌باشد که از این تعداد کل بنابر معیار شدت سازه‌ها، تعداد ۴۴۵ طیف، حدود ۳۸ درصد، دارای پادسازه و تعداد ۷۲۵ طیف، حدود ۶۱ درصد، بدون پادسازه بوده‌اند. از تعداد ۴۴۵ طیف دارای پادسازه، ۱۹۲ طیف مربوط به خیشومی [m] و ۲۵۳ طیف مربوط به خیشومی [n] بوده است. بنابر آمار مذکور می‌توان نتیجه گرفت وقوع پادسازه در تولید خیشومی‌های زبان فارسی امری ثابت نیست. لذا بنابر علی‌نژاد و حسینی‌بالام (۱۳۹۱: ۱۸۴) اگر پادسازه‌ای در خیشومی‌های زبان فارسی مشاهده نشود، این امر نشانگر آن است که میزان جفت‌شدگی صوت‌شناختی حفره‌های دهان و بینی در نحوهٔ تلفظ خیشومی‌های زبان فارسی به گونه‌ای است که بسامدهای بازآوایی حفرهٔ دهان سبب تضعیف سازه‌های حفرهٔ بینی نمی‌شوند.

بنابر بررسی‌های صورت‌گرفته در این تحقیق می‌توان گفت که پادسازهٔ دو خیشومی [m] و [n] در زبان فارسی (در این تحقیق پادسازهٔ اول این دو خیشومی) در سه ناحیهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم، سازهٔ دوم و سوم و سازهٔ سوم و چهارم تشکیل می‌شود. همان‌گونه که ملاحظه شد، وقوع پادسازهٔ این دو خیشومی در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ اول و دوم بیشترین میزان و در ناحیهٔ بسامدی سازهٔ سوم و چهارم کم‌ترین میزان را داشت. بنابر آنچه گفته شد، فرضیهٔ مطرح‌شده در این تحقیق که شکل‌گیری پادسازه را فقط حد فاصل سازهٔ اول و دوم می‌داند، رد می‌شود. در واقع، اگرچه وقوع پادسازهٔ دو خیشومی زبان

فارسی در حد فاصل سازهٔ اول و دوم بیشترین میزان را دارد، ولی فقط در این ناحیهٔ بسامدی تشکیل نمی‌شود.

در این تحقیق مقایسهٔ بسامد پادسازهٔ دو خیشومی زبان فارسی نشان داد که در این زبان همچون زبان‌های انگلیسی، لهستانی، کاتالان و...، حداقل در حد فاصل سازهٔ اول و دوم بسامد پادسازهٔ خیشومی [m] کم‌تر از بسامد پادسازهٔ خیشومی [n] است.

همچنین بنابر نتایج این تحقیق میانگین بسامد پادسازهٔ خیشومی‌های زبان فارسی در مجاورت با واکه‌های پیشین بیشتر از میانگین بسامد پادسازهٔ این دو خیشومی در مجاورت با واکه‌های پسین است.

## منابع


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

ثمره، یدالله (۱۳۶۴). *آواشناسی زبان فارسی: آواها و ساخت آوایی هجا*. تهران: مرکز نشر دانشگاهی.

علی‌نژاد، بتول و فهیمه حسینی‌بالام (۱۳۹۱). *مبانی آواشناسی آکوستیکی*. اصفهان: انتشارات دانشگاه اصفهان.

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

Ashby, P. (2012). *Understandig Phonetics*. London: Hodder Education.

Borden, G. J., K. S. Harris & L. J. Raphael (2003). *Speech Science Primer: Physiology, Acoustics, and Perception of Speech*. 4th Edition. New York: Lippincott Williams & Wilkins.

Dellatre, P. (1958). "Les Iindices Acoustiques de la Parole". *Phonetica*. No. 2. pp. 226-251.

Fant, G. (1960). *Acoustic Theory of Speech Production*. Netherlands: Mouton, The Hague.

Fry, D. B. (1979). *The Physics of Speech*. Cambridge: Cambridge University Press.

Fujimura, O. (1962). "Analysis of Nasal Consonants". *Journal of the Acoustical Society of America*. No. 34. pp. 1865-1875.

Jassem, W. (1973). *Podstawy Fonetyki Akustycznej*. Warsaw: Polska Akademia Nauk.

Johnson, K. (2003). *Acoustic and Auditory Phonetics*. 2nd Edition. Oxford: Blackwell Publishing.

Ladefoged, P. & I. Maddieson (1996). *The Sounds of the World's Languages*. Oxford: Blackwell Publisher Ltd.

Laver, J. (1995). *Principles of Phonetics*. Cambridge: Cambridge University Press.

Lindqvist-Gauffin, J. & J. Sundberg (1976). "Acoustic Properties of the Nasal Tract". *Phonetica*. No. 33. pp. 161-168.

Pruthi, T. & C. Y. Espy-Wilson (2004). "Acoustic Parameters for Automatic Detection of Nasal Manner". *Speech Communication*. No. 43. pp. 225-239.

Recasens, D. (1982). "Perception of Nasal Consonants with Special Reference to Catalan". *Status Report on Speech Research*. No. 69. pp. 189-226.

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

Stevens, K. N. (1999). *Acoustic Phonetics*. Cambridge: MIT Press.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی