

# بررسی موج چاکنایی واکه‌های فارسی با استفاده از الکتروگلوٹوگرافی

ندا موسوی<sup>۱</sup>

استادیار گروه زبان شناسی دانشگاه اصفهان

بتول علی نژاد

دانشیار گروه زبان شناسی دانشگاه اصفهان

(از ص ۸۱ تا ص ۹۷)

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۱۲/۹؛ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۶/۲۸

## چکیده

در این تحقیق به بررسی موج چاکنایی واکه‌های فارسی با استفاده از الکتروگلوٹوگرافی می‌پردازیم. در مرحله اول ویژگی‌های موج چاکنایی واکه‌های مختلف زبان فارسی را مقایسه می‌کنیم. در مرحله دوم به مقایسه موج چاکنایی گویشوران مرد و زن می‌پردازیم. در این تحقیق برای مقایسه ویژگی‌های موج چاکنایی از پارامتر نسبت تماس استفاده می‌شود. داده‌های مورد بررسی شامل شش واکه زبان فارسی هستند که با استفاده از دستگاه حنجره‌نگار و خارج از بافت آوایی ضبط شده‌اند. گویشوران شامل چهار مرد و چهار زن هستند. نتایج نشان می‌دهد که میانگین نسبت تماس واکه‌های مختلف زبان فارسی با یکدیگر تفاوت معناداری دارد. این نتیجه پیرو رویکرد تعاملی مدل چشمه-پالایه در تولید گفتار است که بر مبنای آن حوزه‌های مختلف تولید گفتار بر یکدیگر اثرگذارند. همچنین نتایج مقایسه موج چاکنایی گویشوران مرد و زن نشان می‌دهد که پارامتر نسبت تماس موج چاکنایی مردان و زنان تفاوت معناداری دارد. به بیان دیگر مردان و زنان علاوه بر بسامد پایه متفاوت، کیفیت واک متفاوتی را هم در گفتار تولیدی نشان می‌دهند.

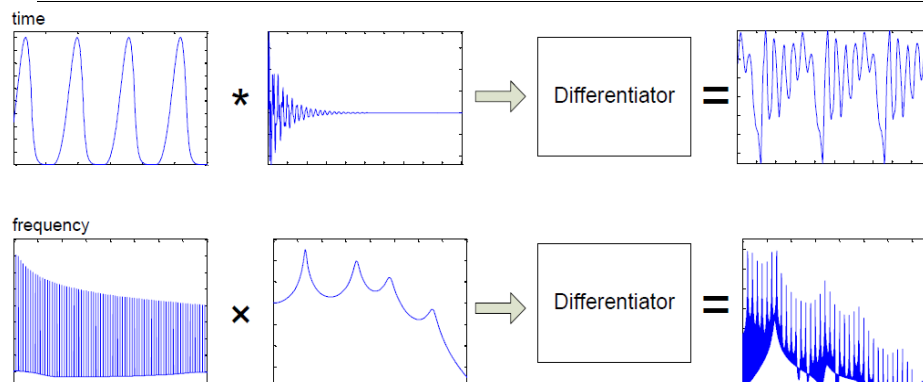
**واژه‌های کلیدی:** موج چاکنایی، نسبت تماس، الکتروگلوٹوگرافی، واکه، گویشوران.

## ۱- مقدمه

به طور کلی تولید گفتار فرایندی غیرخطی محسوب می‌شود، اما می‌توان آن را به عنوان مجموعه‌ای از نظام‌های خطی (ترکیب خطی چند تابع) مورد بررسی قرار داد. این نظام‌ها شامل عملکرد چشمه<sup>۱</sup> (چشمه<sup>۲</sup> واک<sup>۳</sup>)، پالایه<sup>۴</sup> (مجرای گفتار<sup>۴</sup>) و تابش<sup>۵</sup> (خروجی لب‌ها) می‌شود. این فرایند با عنوان مدل خطی چشمه-پالایه در تولید گفتار<sup>۶</sup> شناخته شده است و کاربرد وسیعی در حوزه تحقیقات پردازش گفتار دارد (شو<sup>۷</sup>، ۲۰۱۰). اگرچه از نظر فیزیولوژیکی تعامل‌هایی غیرخطی بین مجرای گفتار و چشمه<sup>۱</sup> واک در خلال تولید گفتار وجود دارد، اما این تعامل‌ها در مدل خطی آن بازنمایی نمی‌شود. در نگاه ریاضی می‌توان هر یک از پارامترهای چشمه، مجرای گفتار و ... را با یک تابع نشان داد و تولید گفتار را به عنوان ضربی از این توابع توصیف کرد (همان).

بنابر مدل خطی چشمه-پالایه، تولید گفتار نتیجه عملکرد سه نظام مختلف (چشمه، مجرای گفتار و لب‌ها) است. بر این اساس ویژگی‌های موج صوتی گفتار در هنگام خروج از لب‌ها، شامل تلفیقی از عملکرد سه نظام مختلف بر آن است. شکل زیر تصویری کلی از بازنمایی گفتار را بر مبنای این نظریه نشان می‌دهد. از سمت چپ به راست، تاثیر منبع واک، مجرای گفتار و تابش لب‌ها را مشاهده می‌کنید. خروجی نهایی هم سیگنال گفتاری است. در سطر اول توالی توابع را در حوزه زمان نشان می‌دهیم و در سطر دوم توالی توابع را در حوزه بسامد:

- 
1. source
  2. voice source
  3. filter
  4. vocal tract
  5. radiation
  6. the linear source-filter model of speech production
  7. Shue Y. L.



شکل (۱): فرایند تولید گفتار در مدل چشمه-پالایه (فانت<sup>۱</sup>، ۱۹۶۰)

آنچه در این تحقیق مورد توجه ماست، توصیف موج چاکنایی واکه‌ها در چشمه تولید واک است. در این باب باید به مدل‌هایی توجه کرد که چشمه واک را مورد ارزیابی قرار می‌دهند. مدل‌های توصیف‌کننده چشمه واک را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم کرد: مدل‌های تعاملی<sup>۲</sup> و مدل‌های غیرتعاملی<sup>۳</sup>. مدل‌های تعاملی که به بررسی تعامل بین چشمه تولید واک و مجرای گفتار می‌پردازند و مدل‌های غیرتعاملی که تعامل خطی چشمه و مجرا را مفروض می‌پندارند. مدل‌های تعاملی به طور کلی پیچیده‌ترند و نیازمند محاسبه تغییرات سیگنال موج چاکنایی نسبت به تأثیرات تولید گفتار در مجرا هستند. از آنجا که این تأثیرات به طور کامل شناخته‌شده نیستند، مدل‌های غیرتعاملی رواج بیشتری در تحقیقات بررسی موج چاکنایی یافته است (شو، ۲۰۱۰).

## ۲- بحث نظری

برای ارزیابی فعالیت حنجره در طول واک‌سازی تکنیک‌های مختلفی وجود دارد. به طور کلی یک تکنیک تحلیل باید الگوهای ارتعاش پرده‌های صوتی را بازتاب دهد یا پدیده‌های صوتی مرتبط را نشان دهد. این تکنیک باید قابل اعتماد، دقیق و قابل اثبات باشد. اما روش‌های تحلیل ارتعاش پرده‌های صوتی به دلیل عدم دسترسی مستقیم به حنجره در حین واک‌سازی مورد مناقشه است. با این حال چندین ابزار غیرمستقیم برای

<sup>۱</sup>. Fant G.

<sup>۲</sup>. interactive models

<sup>۳</sup>. non-interactive models

مطالعه عملکرد پرده‌های صوتی وجود دارد. یکی از این روش‌ها، استفاده از الکتروگلوٹوگرافی (EGG) است. روش الکتروگلوٹوگرافی به عنوان روشی غیرمداخله‌ای محسوب می‌شود. در این روش نیازی به جراحی یا معاینه داخلی بدن نیست و در آنها گوینده از صحبت کردن نرمال و معمولی منع نمی‌شود. در سال‌های اخیر از این دستگاه به طور گسترده در مطالعه انواع واکسازی در حوزه زبان‌شناسی و گفتاردرمانی استفاده شده است و نقش مهمی در ثبت انواع واکسازی‌های غیرمعمولی در زبان‌های مختلف داشته است.

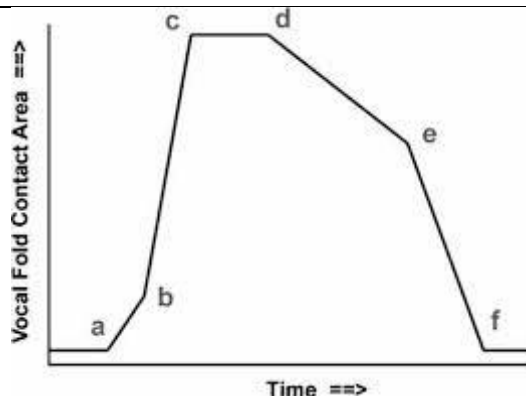
الکتروگلوٹوگرافی که نخستین بار توسط فابر<sup>۱</sup> (۱۹۵۷) معرفی شد روشی برای اندازه‌گیری تغییرات در ناحیه تماس بین پرده‌های صوتی به عنوان تابعی از زمان است. الکتروگلوٹوگرافی روشی است که می‌تواند با هزینه‌های نسبتاً کم انجام شود. این روش عمومیت زیادی به عنوان ابزاری برای ارزیابی رفتار آوایی در آزمایش‌های کلینیکی داشته است. در این روش یک جریان کوتاه فرکانس بالا از بین دو الکترودی عبور می‌کند که در دو طرف حنجره واقع شده‌اند. تغییرات در گذرایی<sup>۲</sup> الکتریکی حنجره در حین باز و بسته شدن پرده‌های صوتی رخ می‌دهد. سیگنال EGG با ناحیه تماس پرده‌های صوتی مرتبط است. هرچه ناحیه تماس بیشتر باشد گذرایی اندازه‌گیری شده هم بیشتر است.

در ابتدا سعی می‌کنیم که طرح واره‌ای را از سیگنال EGG به دست دهیم. برای توصیف سیگنال EGG از مدل بیکن و اورلیکوف<sup>۳</sup> (۲۰۰۰) استفاده می‌کنیم. محور افقی حوزه زمان را نشان می‌دهد و محور عمودی بیانگر میزان تماس پرده‌های صوتی است.

<sup>۱</sup>. Fabre P.

<sup>۲</sup>. admittance

<sup>۳</sup>. Baken R.J. and Orlikoff R.F.



شکل (۲) : موج چاکنایی (بر مبنای تماس پرده‌های صوتی)

- a. افزایش تماس پرده‌های صوتی آغاز می‌شود، پرده‌های صوتی از لبه پایینی شروع به بسته شدن می‌کنند.
- b. پرده‌های صوتی شروع به تماس کامل می‌کنند، بست به لبه‌های بالایی پرده‌های صوتی می‌رسد.
- c. تماس به حداکثر می‌رسد. خصوصاً در قفسه سینه که ممکن است با بست کامل پرده‌های صوتی مرتبط باشد. با این حال سیگنال‌های EGG نشان نمی‌دهند که بست کامل است.
- d. پایان تماس کامل. فاز باز شدن آغاز می‌شود که از لبه‌های پایینی پرده‌های صوتی شروع می‌شود.
- e. جداسدن لبه‌های بالایی پرده‌های صوتی آغاز می‌شود.
- f. تماس پرده‌های صوتی به حداقل می‌رسد. به علت آنکه پرده‌های صوتی در نوسان هستند، ما می‌دانیم که چاکنای در این نقطه باز است.
- سیگنال EGG عموماً بر مبنای پارامتری بررسی می‌شود که بازتاب تماس نسبی پرده‌های صوتی در هر دور ارتعاش است. این پارامتر با عنوان «نسبت تماس<sup>۱</sup>» یا (CQ) شناخته می‌شود (روتنبرگ و دیگران<sup>۲</sup>، ۱۹۸۸؛ بیکن و اورلیکوف، ۲۰۰۰). پارامترهای دیگر توصیف موج چاکنایی عبارتند از نسبت بازبودن<sup>۳</sup> (OQ) و نسبت سرعت<sup>۴</sup> (SQ).

1. Contact Quotient (CQ)

2. Rothenberg M. et al.

3. Open Quotient (OQ)

4. Speed Quotient (SQ)

نسبت بازبودن نشان‌دهنده درصد زمان بازبودن پرده‌های صوتی است. نسبت سرعت هم بیانگر میزان تقارن شکل موج چاکنایی است (همان).

پارامتر مورد توجه در تحقیق حاضر، پارامتر نسبت تماس است. نسبت تماس به عنوان نسبت دیرش فاز تماس به دوره تناوب ارتعاش تعریف می‌شود. اگرچه هانسون<sup>۱</sup> (۲۰۱۲) ادعا می‌کند که سیگنال EGG ارتباطی با کیفیت واک ندارد اما مطالعات قبلی نشان داده‌اند که (CQ) با تغییر کیفیت واک تغییر می‌کند. واک‌های سخت، بازداشته و دیگر واک‌های حنجره‌ای شده عموماً دارای (CQ) بیشتری هستند که بازتاب چاکنایی است که مدت زمان بیشتری بسته بوده است. واک‌سازی نفسی عموماً دارای (CQ) کمتری است که نشان‌دهنده آن است که چاکنایی مدت زمان بیشتری باز بوده است. موشارمر<sup>۲</sup> (۲۰۱۰) در تحقیقات خود نشان داده است که (CQ) در زبان آلمانی با تکیه واژگانی و فعالیت واک‌ی تغییر می‌کند، گرچه تحقیق دیگری توسط ماراسک<sup>۳</sup> (۱۹۹۶) چنین تأثیری را نشان نمی‌دهد. همچنین (CQ) پارامتری برای تمایز واک‌های نفسی، بازداشته<sup>۴</sup> و معمولی در زبان مونگ<sup>۵</sup> (اسپوزیتو، ۰۱۲)، واک‌های نفسی و معمولی در زبان گوجاراتی<sup>۶</sup> (کان،<sup>۷</sup> ۲۰۱۲)، تقابل سه‌گانه واک‌ی در زبان سانتا آنا دل واله زاپوتک<sup>۸</sup> (اسپوزیتو، ۲۰۱۰)، تقابل چهارگانه واک‌ی در زبان تخین تانگ چونگ<sup>۹</sup> (دی کانپو، ۲۰۰۹) و حتی تقابل‌های واجگونه‌ای واک‌های بازداشته و معمولی در ماندارین (کیتینگ و دیگران ۱۲، ۲۰۱۲) بوده است.

مطالعه موج چاکنایی آواها در زبان فارسی سابقه چندانی ندارد. علی‌نژاد و حسینی بالام (۱۳۹۱: ۲۸۶-۲۸۲) به انواع موج چاکنایی و نحوه محاسبه پارامترهای آن اشاره

1. Hanson H.M.

2. Mooshamer C.

3. Marasek K.

4. creaky

5. Hmong

6. Esposito C.

7. Gujarati

8. Khan S.

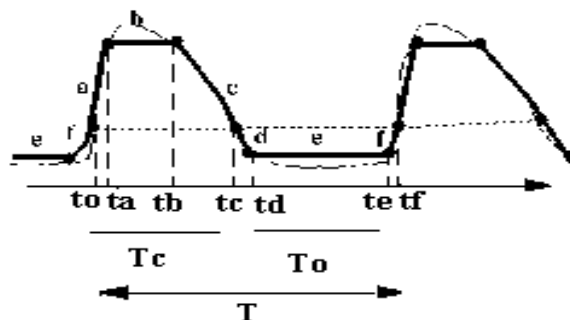
9. Santa Ana del Valle Zapotec

10. Takhian Thong Chong

11. DiCanio C.

12. Keating P. et al

پرداخته‌اند. پارامترهای تعریف شده براساس توصیف چیلدرز و کرشنامورثی<sup>۱</sup> (۱۹۸۵): (۱۳۷) است. در شکل (۳) حجم جریان هوای عبوری از چاکنای و قلّه موج چاکنایی نشان داده شده است. میزان جریان هوای عبوری با میزان تماس پرده‌های صوتی (شکل (۲) رابطه متقابل دارد. در این شکل می‌بینیم که قلّه موج چاکنایی بیانگر بیشینه سرعت حجمی جریان هواست. نسبت باز و بسته شدن و میزان کج‌شدگی موج چاکنایی نیز نشان‌دهنده حجم جریان هوایی است که از چاکنای می‌گذرد. نقاط مشخص شده در شکل زیر نقاط عطفی هستند که به عنوان مبنای توصیف فازهای مختلف موج چاکنایی در نظر گرفته می‌شوند. فازهای مختلف موج در شکل (۲) معرفی شدند. محور افقی در این نمودار محور زمان است و پارامترهای  $t$  نشان‌دهنده نقاط زمانی مختلف هستند.



شکل (۳): نمودار حجم هوای عبوری از چاکنای در یک دوره موج چاکنایی (چیلدرز و کرشنامورثی، ۱۹۸۵: ۱۳۷)

همان‌طور که پیشتر اشاره شد، نسبت بازبودن،  $OQ$ ، نشان‌دهنده درصد زمان باز بودن پرده‌های صوتی است و تغییر مقدار آن شکل طیف را تغییر می‌دهد. این نسبت با محدودیت‌های فیزیولوژیک و نوع آواسازی ارتباط دارد. مقدار  $OQ$  برابر است با نسبت مدت زمان بازبودن کامل پرده‌های صوتی،  $T_o$ ، به مدت زمان کل یک دوره موج چاکنایی،  $T$ ، که به صورت معادله (۱) نشان داده می‌شود:

$$OQ = 100 \frac{T_o}{T} \quad (1)$$

<sup>1</sup>. Childers D. & Krishnamurthy A.

نسبت تماس، CQ)، درصد بسته‌بودن پرده‌های صوتی را در هر دوره نشان می‌دهد. نسبت تماس عدم تقارن دوره موج چاکنایی را هم نشان می‌دهد و با معادله (۲) به دست می‌آید:

$$CQ = 100 \frac{T_c}{T} \quad (2)$$

Tc، مدت زمان بسته‌شدن پرده‌های صوتی و، T، مدت زمان یک دوره کامل است. نسبت سرعت که به کج‌شدگی یا چولگی موج مربوط می‌شود، با تقسیم مدت زمان حرکت پرده‌های صوتی به طرف هم در هر دوره (t<sub>a</sub> - t<sub>o</sub>) بر مدت زمان دورشدن پرده‌های صوتی از هم (t<sub>c</sub> - t<sub>b</sub>) محاسبه می‌شود به عبارت دیگر نسبت کج‌شدگی عددی است که میزان نامتقارن بودن موج را نشان می‌دهد. هر چه مقدار آن به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد موج متقارن‌تر است. نسبت سرعت با معادله (۳) به دست می‌آید:

$$SQ = 100 \frac{(t_a - t_o)}{(t_c - t_b)} \quad (3)$$

تعیین این متغیرها به توصیف جنبه‌های مختلف موج چاکنایی کمک می‌کند. ارزش متغیرها به طور مستقیم با نوع آواسازی در رابطه است. در این پژوهش برآنیم که مشخصه نسبت تماس سیگنال EGG را در مورد واکه‌های فارسی

خارج از بافت آوایی مورد بررسی قرار دهیم. اگرچه برخی محققان بر این باورند که نمونه‌های واک بدست آمده از واکه‌ها خارج از بافت آوایی توصیف دقیق و قابل مقایسه‌ای با نمونه‌های واک بدست آمده از واکه‌ها در بافت آوایی به دست نمی‌دهد. الگوهای واک‌سازی در گفتار پیوسته ممکن است که تحت تاثیر آهنگ گفتار یا هم‌تولیدی<sup>۱</sup> قرار بگیرند. با این حال این امر که بررسی سیگنال EGG در گفتار پیوسته باز نمود دقیق‌تری از واک‌سازی، نسبت به واکه‌های خارج از بافت آوایی به دست می‌دهد هنوز به اثبات نرسیده است (هیگینز<sup>۲</sup> و دیگران، ۱۹۹۳).

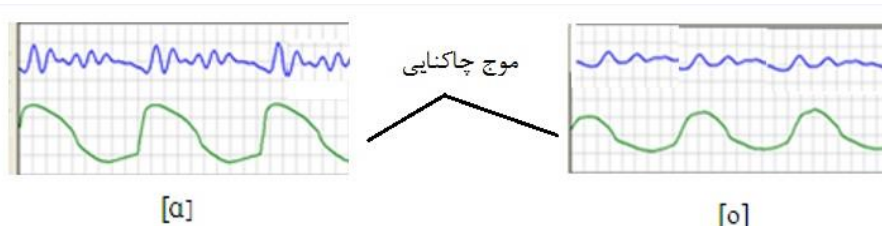
<sup>۱</sup> . co-articulation

<sup>۲</sup> . Higgins M. et al



### ۳- روش اندازه‌گیری پارامترها

برای اندازه‌گیری پارامترهای موج چاکنایی روش‌های مختلفی وجود دارد. همان‌طور که گفتیم موج چاکنایی حاصل از الکتروگلوٹوگرافی، نسبت تماس پرده‌های صوتی را در حوزه زمان نشان می‌دهد. بنابراین نخستین راه برای محاسبه پارامترهای مورد نظر اندازه‌گیری زمان در بخش‌های مختلف تماس در شکل موج چاکنایی است. اما موج‌های چاکنایی واقعی همیشه شکل ایده‌آلی را (مانند آنچه در طرح‌واره‌های شکل (۲) و (۳) نشان داده شد) ندارند و تحت تاثیر عوامل محیطی حنجره یا دستگاه دچار تغییر می‌شوند. برای پیشگیری از تاثیر این تغییرها ناچاریم که به جای تحلیل تنها یک موج، از تعداد بیشتری از موج‌ها استفاده کنیم میانگین اندازه پارامترها را در تعداد زیادی از موج‌ها بیابیم. در شکل زیر موج چاکنایی ضبط‌شده با صدای یک زن را مشاهده می‌کنید.



شکل (۴): نمایش موج چاکنایی

برای اندازه‌گیری پارامترها در تعداد زیادی از موج‌ها و رسیدن به میانگین مورد قبول، برنامه‌ها و کدهای رایانه‌ای زیادی نوشته شده است. یکی از این موارد مربوط به پروژه‌ای است که در دانشگاه یوسی‌ال‌ای<sup>۱</sup> مطرح شد و برای اندازه‌گیری پارامترها هم نرم‌افزاری با نام EGGWorks طراحی شد. ما نیز در این تحقیق برای اندازه‌گیری این پارامترها از این نرم‌افزار استفاده می‌کنیم. در این نرم‌افزار ورودی موج چاکنایی است و خروجی آن یک خروجی متنی است که از چندین پارامتر تشکیل شده است. این پارامترها شامل نقطه زمانی شروع دوره موج چاکنایی، زمان آغاز فاز بازشدن، زمان پایان فاز بازشدن و زمان پایان فاز بسته شدن است. دوره تناوب یک موج چاکنایی نیز با جمع کردن مدت زمان فاز بازشدن و فاز بسته شدن به دست می‌آید. در بیشتر

<sup>۱</sup>. UCLA

تحلیل‌های مربوط به موج چاکنایی از چند دوره اول که هنوز صورت کاملی ندارند صرفنظر می‌شود. در بخش بعد به تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده می‌پردازیم.

#### ۴ - تحلیل موج چاکنایی واکه‌های فارسی با استفاده از الکتروگلو توگرافی

در این پژوهش موج چاکنایی تک‌تک واکه‌های فارسی را خارج از بافت آوایی بررسی می‌کنیم. واکه‌های زبان فارسی شامل شش واکه (a, e, o, α, u, i) هستند. در این مرحله از هشت گویشور استفاده می‌شود. گویشوران شامل چهار زن و چهار مرد بوده و هیچ کدام از آنها سابقه مشکلات گفتاری نداشته‌اند. سن گویشوران بین بیست تا سی سال است. فارسی زبان مادری همه گویشوران است. همچنین هیچ کدام از آنها سابقه آوازخوانی حرفه‌ای یا تمرینات گفتاری ندارند. صدا در اتاق ضدصوت و با استفاده از دستگاه حنجره‌نگار ضبط شد.

هدف از این تحقیق، بررسی ویژگی‌های موج چاکنایی در واکه‌های فارسی است. با در نظر گرفتن حجم تحقیق حاضر، پارامتر نسبت تماس (CQ) را به عنوان پارامتر بازنمایاننده موج چاکنایی انتخاب کرده‌ایم. نخستین سؤال این تحقیق بررسی این نکته است که آیا پارامتر نسبت تماس موج چاکنایی واکه‌های مختلف تفاوت معناداری دارد؟ به بیان دیگر آیا بر مبنای مدل چشمه-پالایه خطی غیرتعاملی، موج چاکنایی واکه‌ها با ویژگی‌های مجرای گفتار بی‌ارتباط است؟ در این صورت باید به پارامترهای یکسانی در واکه‌های متفاوت برسیم. علاوه بر آن می‌خواهیم به این سؤال پاسخ دهیم که تفاوت جنسیت گویشوران چه تأثیری بر پارامتر نسبت تماس می‌گذارد؟ بر این مبنا در این تحقیق دو متغیر مستقل نوع واکه و جنسیت و تأثیر آنها بر متغیر وابسته نسبت تماس موج چاکنایی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

در این مرحله ابتدا از گویشوران می‌خواهیم که شش واکه فارسی را خارج از بافت آوایی ادا کنند. در حین ادای واکه، موج چاکنایی را با استفاده از دستگاه الکتروگلو توگراف ضبط می‌کنیم. طول مدت ادای هر واکه بیش از سه ثانیه است. اغلب در نخستین دوره‌های موج چاکنایی واکه‌ها، ناهماهنگی‌هایی دیده می‌شود. به همین دلیل تحلیل موج چاکنایی واکه‌ها از سیگنالی آغاز می‌شود که در طیف آن تأثیر آوای انسدادی چاکنایی آغاز واکه به طور کامل حذف شده باشد. در جدول (۱) میانگین پارامتر نسبت

تماس در چهل و پنج دوره متوالی موج چاکنایی هر واکه برای چهار گویشور زن نشان داده شده است:

جدول (۱): میانگین پارامتر نسبت تماس برای گویشوران زن

میانگین (CQ) در واکه a	میانگین (CQ) در واکه e	میانگین (CQ) در واکه a	میانگین (CQ) در واکه i	میانگین (CQ) در واکه o	میانگین (CQ) در واکه u
0.7987	0.7211	0.7797	0.7566	0.7654	0.7758
انحراف معیار (CQ) در واکه a	انحراف معیار (CQ) در واکه e	انحراف معیار (CQ) در واکه a	انحراف معیار (CQ) در واکه i	انحراف معیار (CQ) در واکه o	انحراف معیار (CQ) در واکه u
0.1214	0.0944	0.0766	0.0622	0.0886	0.0292

در جدول (۲) هم میانگین پارامتر نسبت تماس را در چهل و پنج دوره متوالی موج چاکنایی برای گویشوران مرد نشان می‌دهیم:

جدول (۲): میانگین پارامتر نسبت تماس برای گویشوران مرد

میانگین (CQ) در واکه a	میانگین (CQ) در واکه e	میانگین (CQ) در واکه a	میانگین (CQ) در واکه i	میانگین (CQ) در واکه o	میانگین (CQ) در واکه u
0.8533	0.7934	0.8175	0.7336	0.7948	0.7598
انحراف معیار (CQ) در واکه a	انحراف معیار (CQ) در واکه e	انحراف معیار (CQ) در واکه a	انحراف معیار (CQ) در واکه i	انحراف معیار (CQ) در واکه o	انحراف معیار (CQ) در واکه u
0.1138	0.1413	0.1632	0.0743	0.1198	0.0794

حال تحلیل داده‌ها را می‌توان از دو منظر پی گرفت. نخست آیا نسبت تماس موج چاکنایی واکه‌های مختلف اختلاف معناداری با یکدیگر دارد یا خیر؟ در بخش نظری گفتیم که در رویکردهای غیرتعاملی مدل چشمه-پالایه، عملکرد بخش‌های مختلف فرایند تولید گفتار به طور مجزا از یکدیگر است و تأثیری بر بخش‌های مجاور ندارد. اما بنا بر رویکرد تعاملی مدل چشمه-پالایه، نمی‌توان از اثر چشمه و پالایه بر یکدیگر در طول تولید گفتار چشم‌پوشی کرد و شکل مجرای گفتار بر موج چاکنایی چشمه اثر

می‌گذارد. در اینجا پارامتر نسبت تماس به عنوان پارامتر بازنمایاننده ویژگی‌های موج چاکنایی مورد نظر ماست. برای مقایسه میانگین نسبت تماس در واکه‌های مربوط به گویشوران زن و گویشوران مرد از آنالیز واریانس یک‌طرفه<sup>۱</sup> استفاده می‌کنیم. در این آزمون میانگین واکه‌ها به صورت کلی (و نه دو به دو) بررسی می‌شود. چون هدف بررسی آن است که آیا پارامتر مورد نظر در بین همه واکه‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارد یا خیر. تحلیل‌های آماری را با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب انجام می‌دهیم. نتایج تحلیل (با فرض صفر معنادار نبودن تفاوت میانگین‌ها) نشان می‌دهد که میانگین نسبت تماس در واکه‌های مختلف گویشوران زن (عدد پی: ۰,۰۰؛  $F=17.76$ ) و مرد (عدد پی: ۰,۰۰؛  $F=22.31$ ) تفاوت معنادار دارد. به بیان دیگر نسبت تماس موج چاکنایی گویشوران مختلف با یکدیگر اختلاف معنادار دارد. بنابراین مشاهده می‌کنیم که رویکرد تعاملی مدل چشمه-پالایه با توصیف آماری داده‌های به دست آمده تناسب بیشتری دارد. البته مقایسه نسبت تماس واکه‌ها را می‌توان در تقسیم‌بندی جزئی‌تری هم ادامه داد. در ادامه میانگین نسبت تماس را در درجات مختلف افزایش واکه‌ها و همچنین جایگاه پیشین و پسین واکه‌ها مقایسه می‌کنیم. در جدول (۳) میانگین نسبت تماس واکه‌های مختلف بر مبنای ویژگی جایگاه بدنه زبان مقایسه شده است. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون تی<sup>۲</sup> انجام شده است.

جدول (۳): مقایسه میانگین نسبت تماس واکه‌های پیشین و پسین

واکه‌های افزایش یافته پیشین و پسین (i, u)	واکه‌های میانی پیشین و پسین (e, o)	واکه‌های افتاده پیشین و پسین (a, ɔ)	
اختلاف معنی دار دارند $t_0 =  3.92 $ $t_{\frac{0.05}{2}, 179} = 1.96$	اختلاف معنی دار ندارند $t_0 =  -1.37 $ $t_{\frac{0.05}{2}, 179} = 1.96$	اختلاف معنی دار ندارند $t_0 =  -0.50 $ $t_{\frac{0.05}{2}, 179} = 1.96$	گویشوران مرد
اختلاف معنی دار دارند $t_0 =  -6.12 $ $t_{\frac{0.05}{2}, 179} = 1.96$	اختلاف معنی دار دارند $t_0 =  -2.48 $ $t_{\frac{0.05}{2}, 179} = 1.96$	اختلاف معنی دار ندارند $t_0 =  1.83 $ $t_{\frac{0.05}{2}, 179} = 1.96$	گویشوران زن

<sup>۱</sup>. ANOVA

<sup>۲</sup>. بنابر آزمون تی اگر  $|t_0| > t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$  باشد، فرض صفر رد میشود؛ با فرض  $\alpha = 0.05$

همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، مقایسه میانگین نسبت تماس واکه‌های پیشین و پسین، الگوی ثابتی را نشان نمی‌دهد. این الگو همچنین در بین گویشوران مرد و زن نیز روند ثابتی ندارد.

در جدول (۴) هم میانگین نسبت تماس واکه‌های مختلف بر مبنای ویژگی افزایشی زبان مقایسه شده است. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه<sup>۱</sup> انجام شده است.

جدول (۴): مقایسه میانگین نسبت تماس واکه‌های دارای درجه افزایشی متفاوت

واکه‌های پیشین با سه درجه افزایشی متفاوت (i, e, a)	واکه‌های پسین با سه درجه افزایشی متفاوت (u, o, a)	
اختلاف معنی‌دار دارند $F = 6.28$ $F_{2,537} = 3.00$	اختلاف معنی‌دار ندارند $F = 1.65$ $F_{2,537} = 3.00$	گویشوران مرد
اختلاف معنی‌دار دارند $F = 18.19$ $F_{2,537} = 3.00$	اختلاف معنی‌دار ندارند $F = 2.03$ $F_{2,537} = 3.00$	گویشوران زن

در مورد واکه‌های دارای درجه افزایشی متفاوت نیز الگوی نسبت تماس در مورد واکه‌های پیشین و واکه‌های پسین متفاوت است.

نتایج به دست آمده را می‌توان از منظر دیگری هم مورد ارزیابی قرار داد: آیا پارامتر نسبت تماس واکه‌های مختلف در گویشوران زن و مرد تفاوت معنی‌داری دارد؟ بنا بر پیش فرض‌های موجود زیرومی<sup>۲</sup> صدای زنان و مردان با یکدیگر متفاوت است. زیرومی یک مفهوم ادراکی است و همبسته تولیدی آن میزان ارتعاش تارآواها در حین تولید آوا است. همبسته صوت‌شناختی آن نیز بسامد پایه است که بر اساس دور بر ثانیه و یا هرتز (Hz) بیان می‌شود. مقدار میانگین بسامد پایه در گفتار معمول، برای مردان ۱۲۰ هرتز و

<sup>۱</sup>. بنابر آزمون آنالیز واریانس یک طرفه اگر  $F_0 > F_{\alpha-1, N-\alpha}$  باشد فرض صفر رد می‌شود.

<sup>۲</sup>. pitch

برای زنان ۲۲۰ هرتز است. بیشترین محدوده بسامد پایه در گفتگوهای عادی مردان ۵۰-۲۵۰ هرتز و در زنان ۱۲۰-۴۸۰ هرتز است (فانت، ۱۹۵۶).

باید توجه داشت که پارامتر بسامد پایه مربوط به میزان ارتعاش پرده‌های صوتی و تعداد آن در واحد ثانیه است. اما پارامتر نسبت تماس مربوط به کیفیت موج چاکنایی است و ربطی به تعداد دورهای تولیدشده در واحد زمان ندارد. بنابراین برای مقایسه کیفیت موج چاکنایی واکه‌های فارسی- خارج از بافت آوایی- میانگین نسبت تماس به‌دست‌آمده را برای هر واکه در گویشوران زن و گویشوران مرد مقایسه می‌کنیم. برای این کار از آزمون تی جفت‌شده<sup>۱</sup> (با فرض صفر معنادار نبودن تفاوت میانگین‌ها) استفاده می‌کنیم:

جدول (۵): مقایسه میانگین نسبت تماس به‌دست‌آمده برای هر واکه در گویشوران زن و مرد

آزمون تی در واکه u	آزمون تی در واکه o	آزمون تی در واکه i	آزمون تی در واکه a	آزمون تی در واکه e	آزمون تی در واکه a
$t_0 =  -2.48 $ $t_{0.05, 179} = 1.96$	$t_0 =  2.51 $ $t_{0.05, 179} = 1.96$	$t_0 =  -3.66 $ $t_{0.05, 179} = 1.96$	$t_0 =  2.87 $ $t_{0.05, 179} = 1.96$	$t_0 =  5.53 $ $t_{0.05, 179} = 1.96$	$t_0 =  4.51 $ $t_{0.05, 179} = 1.96$

بنا بر آزمون تی جفت‌شده، اگر  $|t_0| > t_{\frac{\alpha}{2}, n-1}$  باشد فرض صفر رد می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که عدد تی مقایسه میانگین نسبت تماس در مورد تمام واکه‌ها اختلاف معناداری را بین گویشوران زن و مرد نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که گویشوران زن و مرد علاوه بر بسامد پایه مختلف، کیفیت واک متفاوتی هم دارند.

##### ۵- نتیجه

ما در تحقیق حاضر به بررسی دو سؤال پرداختیم: اول اینکه آیا نسبت تماس موج چاکنایی واکه‌های مختلف تفاوت معناداری با یکدیگر دارد؟ و دوم اینکه آیا نسبت تماس موج چاکنایی گویشوران زن و مرد تفاوت معناداری با یکدیگر دارد؟ برای پاسخ به سوالات تحقیق، شش واکه زبان فارسی را خارج از بافت آوایی مورد بررسی قرار دادیم.

<sup>۱</sup>. paired t-test

پارامتر مورد نظر ما برای مقایسه واکه‌ها، پارامتر نسبت تماس بود. این پارامتر بیانگر درصد بسته‌بودن پرده‌های صوتی در هر دوره موج چاکنایی است. برای ضبط داده‌ها و تحلیل موج چاکنایی، ابتدا واکه‌های مورد نظر را با استفاده از دستگاه حنجره‌نگار ضبط کردیم و سپس با استفاده از نرم‌افزار EGGWORKS، پارامتر نسبت تماس را در دوره‌های متوالی موج چاکنایی محاسبه کردیم. نتایج نشان داد که میانگین نسبت تماس واکه‌های مختلف زبان فارسی با یکدیگر تفاوت معناداری دارد. در واقع علاوه بر ویژگی‌های چشمه، ویژگی‌های پالایه نیز که ایجادکننده واکه‌های مختلف است بر پارامتر اندازه‌گیری شده موثر است. این نتیجه پیرو رویکرد تعاملی مدل چشمه-پالایه در تولید گفتار است که بر مبنای آن حوزه‌های مختلف تولید گفتار (چشمه و پالایه) بر یکدیگر اثرگذارند. مقایسه نسبت تماس واکه‌های مختلف در تقسیم‌بندی جزئی‌تری هم انجام شد. نسبت تماس واکه‌های پیشین و پسین و همچنین واکه‌های دارای درجه افزایشی متفاوت مقایسه شد اما نتایج به دست آمده الگوی همگنی را در مورد تمام واکه‌ها نشان نمی‌داد. می‌توان نتیجه گرفت که تاثیر پالایه بر چشمه در واکه‌ها را نمی‌توان بر مبنای معیارهای تولیدی طبقه‌بندی واکه‌ها (درجه افزایشی یا جایگاه زبان) بررسی کرد و برای طبقه‌بندی واکه‌ها در این مورد باید به دنبال معیارهای دیگری بود.

از طرف دیگر برای پاسخ به دومین سؤال تحقیق، میانگین نسبت تماس موج چاکنایی واکه‌های مختلف در بین گویشوران مرد و گویشوران زن مقایسه شد. نتایج نشان داد که پارامتر مورد نظر در بین گویشوران مرد و زن تفاوت معناداری دارد. به بیان دیگر مردان و زنان علاوه بر بسامد پایه متفاوت، کیفیت واک متفاوتی را هم در گفتار تولیدی نشان می‌دهند.

لازم به ذکر است که در تحقیق حاضر بیشترین توجه نگارندگان به توصیف موج چاکنایی، پارامترهای تحلیل و ارائه توصیفی از الگوهای مشاهده شده است. بدیهی است که نتایج به دست آمده در این پژوهش مربوط به داده‌های جمع‌آوری شده محدودی (از نظر تعداد گویشوران، سن و دیگر متغیرهای مربوط) بوده است و تعمیم و تبیین بیشتر نیاز به بررسی‌های بیشتر و در نظر گرفتن متغیرهای موثر بیشتری است.

## منابع

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

- Baken R.J, and R.F. Orlikoff. 2000. correlates of vocal fold motion: electroglottography, *In Clinical Measurement of Speech and Voice*: 413-427.
- Childers, D, and A. Krishnamurtry. 1985. a critical review of electroglottography, *CRC Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 12, 131-161.
- DiCanio, C. 2009. The phonetics of register in Takhian Thong Chong, *Journal of the International Phonetic Association*, 39(2), 162–188.
- Esposito, C. 2012. an acoustic and electroglottographic study of White Hmong tone and phonation, *Journal of Phonetics*, 40(3): 466-476.
- Fabre, P. 1957. Un procédé électrique percutané d'inscription de l'accolement glottique au cours de la phonation: Glottographie de haute fréquence, *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, vol. 141: 66–69.
- Fant, G. 1956. on the predictability of formant levels and spectrum envelopes from formant frequencies, in *M. Halle , H. Lunt and H.MacLean (eds), for Roman Jakobson, The Hauge: Mouton*:109-20.
- Fant, G. 1960. *acoustic theory of speech production*, The Hagues: Mouton.
- Hanson, H.M. 2012. methodologies used to investigate laryngeal functions and aerodynamic properties of speech, in *The Oxford Handbook of Laboratory Phonology*, edited by A. C. Cohn, C. Fougeron, and M. Huffman (Oxford University Press, Oxford): 496–511.
- Higgins, M. B, and J. H. Saxman. 1993. Inverse-filtered air flow and EGG measures for sustained vowels and syllables, *Journal of Voice*, 7: 47-53.
- Keating, P, and G. Kuo. 2012. comparison of speaking fundamental frequency in English and Mandarin, *J. Acoust. Soc. Am.*132: 1050-1060.
- Khan, S. 2012. the phonetics of contrastive phonation in Gujarati, *Journal of Phonetics*, 40: 780-795.
- Marasek, K. 1997. electroglottographic description of voice quality, *Arbeitspapiere des Instituts für maschinelle Sprachverarbeitung*, Stuttgart, 3(2).
- Mooshammer, C. 2004. an EGG study on global and local vocal effort changes in German: preliminary results, *Proceeding of the International Conference on Voice Physiology and Biomechanics*, Marseille.



- Rothenberg, M. and J.J. Mahshie. 1988. monitoring vocal fold abduction through vocal fold contact area, *Journal of Speech and Hearing Research* 31, no. September 1988: 338-51.
- Shue, Y. L. 2010. the voice source in speech production: Data, analysis and models, PhD Dissertation, Department of Electrical Engineering, UCLA.

