

## آنالیز پی: توزیع و خنثی شدن سرخ‌های صوتی-شناختی در واژگان زبان فارسی معیار

افشین رحیمی  
دانشجوی کارشناسی ارشد زبان‌شناسی  
رایانشی، مرکز زبان‌ها و زبان‌شناسی، دانشگاه  
صنعتی شریف  
بهرام وزیرنژاد\*  
استادیار، گروه زبان‌شناسی رایانشی، آزمایشگاه  
پردازش گفتار و زبان، مرکز زبان‌ها و  
زبان‌شناسی، دانشگاه صنعتی شریف  
محرم اسلامی  
دانشیار، دانشکده زبان‌شناسی، دانشگاه زنجان

\*نشانی تماس: دانشگاه صنعتی شریف، گروه  
زبان‌شناسی رایانشی، آزمایشگاه پردازش گفتار  
و زبان، ساختمان ابن سینا، طبقه چهارم  
rahram@sharif.edu: ایمانامه

هدف: سرخ‌های صوتی-شناختی نقش مؤثری در شکل‌گیری ساختار زبان دارند. میزان تمایزدهندگی این سرخ‌ها در سیگنال صوتی باعث می‌شود تا بتوان از زبان به عنوان یک ابزار ارتباطی به نحو مؤثری استفاده کرد. روش: در این مقاله با استفاده از آنالیز پی میزان نقش آفرینی ویژگی‌های واجی شامل شیوه تولید، محل تولید و واکداری در بافت‌های پیش‌واکه C1، پیش‌هم‌خوانی C2 و جایگاه پایانی C3 در هجای C1VC2C3 بررسی شده است. نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد که میزان تمایزدهندگی این ویژگی‌ها در محیط پیش‌واکه بیشتر از محیط پیش‌هم‌خوان بوده و در جایگاه پایانی کمی بیشتر از جایگاه پیش‌هم‌خوانی است. همچنین این مطالعه حاکی از آن است که میزان تمایز ویژگی شیوه تولید از محل تولید و واکداری در زبان فارسی بیشتر است، به طوری که در محیط پیش‌هم‌خوان تقریباً هیچ‌گاه ویژگی واکداری تمایز ایجاد نمی‌کند. نتایج این مطالعه کاملاً بر نظریه‌های جواز ادراکی و توزیع تقابل منطبق است.

کلیدواژه‌ها: سرخ‌های صوتی-شناختی، آنالیز پی، جواز ادراکی، توزیع مشخصه‌های تقابل‌دهنده، زبان فارسی

## P-Analysis: Dispersion and Neutralization of Acoustic Cognitive Cues in

**Introduction:** Cognitive acoustic cues have an important role in shaping the phonological structure of language as a means to optimal communication. In this paper, we introduced P-trac procedure in order to track dispersion of contrasts in different contexts in lexicon. The results of applying P-trac procedure to the case of dispersion of contrasts in pre-consonantal contexts and in consonantal positions of CVCC sequences in Persian provide Evidence in favor of phonetic basis of the dispersion of contrasts argued by Licensing by Cue hypothesis and the Dispersion Theory of Contrast. The P-trac procedure is proved to be very effective in revealing the dispersion of contrasts in lexicon especially when providing means to compare the dispersion of contrasts in various contexts.

**Keywords:** Cognitive Acoustic Cues, P-trac procedure, Licensing by Cue, Dispersion of Contrasting Features, Persian.

**Afshin Rahimi**

MSc student in Computational Linguistics, Sharif University of Technology

**Bahram Vazirnezhad\***

Assistant Professor, Division for Computational Linguistics, Speech and Language Processing Laboratory, Language and Linguistics Center, Sharif University of Technology

**Moharram Eslami**

Associate Professor, Linguistics Department, Zanjan University

Corresponding Author:

Email: bahram@sharif.edu

## مقدمه

شود. تأثیر کارکرد ارتباطی زبان بر شکل‌گیری پدیده‌های واج‌شناختی در پژوهش‌های متعدد مطرح (۸-۱۰) و البته ایرادهایی نیز به این نظریه‌ها وارد شده است. برای بررسی بیشتر این ایرادها می‌توان به (۱۳-۱۱) مراجعه کرد.

ایده مشترک دو نظریه جواز ادراکی و توزیع تقابلی، بررسی نقش مؤثر عوامل ادراکی بر الگوها و پدیده‌های واج‌شناختی است. سرخ‌های ادراکی هم‌خوان‌ها کاندیده‌های بسیار مناسبی برای پژوهش در زمینه نقش عوامل آواشناختی در واج‌شناسی، به خصوص نقش سرخ‌های ادراکی در توزیع ویژگی‌های ممیز واجی، هستند. هم‌خوان‌ها در بافت‌های مختلف میزان تمایزات واجی متفاوتی از خود بروز می‌دهند. میزان تمایز واجی که هم‌خوان‌ها در محیط پیش‌واکه نشان می‌دهند، بسیار بیشتر از میزان این تمایزات در محیط پیش‌هم‌خوانی در هجای CVVV است. تبیین واج‌آرایی زبان بر اساس رسایی، هر چند پیش‌بینی‌های درستی می‌کند اما در همه موارد قادر به توضیح الگوهای واج‌شناختی نیست. در مقابل، واج‌شناسی مبتنی بر آواشناسی می‌کوشد تا با مطالعه تأثیرپذیری سرخ‌های ادراکی از بافت، نظریه واج‌آرایی زبان را تبیین کند (۱۷-۱۴، ۱). مطالعات انجام شده شواهد جهانی را در مقابل تبیین واج‌شناختی بر اساس رسایی و به سود تبیین مبتنی بر میزان قوی بودن سرخ‌های ادراکی در یک بافت نشان می‌دهد. در این بخش از مقاله، بر اساس مقاله مهم ۱۶ سرخ‌های ادراکی، محل تولید، شیوه تولید و واک‌داری هم‌خوان‌ها معرفی می‌شوند.

سرخ‌های ادراکی محل تولید با ویژگی‌های آکوستیکی مانند گذر سازه‌ها<sup>۱</sup>، رهش هم‌خوان‌ها<sup>۲</sup>، الگوهای قطب-صفر خیشومی‌ها<sup>۳</sup> و نوفه سایشی‌ها مرتبط‌اند. این سرخ‌ها در بافت گذر به واکه مجاور قابلیت شنیداری بیشتری دارند. این امر به خصوص در سرخ‌های ادراکی ویژگی محل تولید هم‌خوان‌های انفجاری بیشتر دیده می‌شود؛ به این معنا که سرخ‌های ادراکی مرتبط با ویژگی محل تولید، در هم‌خوان‌های انفجاری در محیط‌های گرفته پس از خود ضعیف‌ترند. هم‌خوان‌های

به طور سنتی محدودیت‌های واجی دلیل ایجاد الگوهای واج‌شناختی شناخته شده است. اما نتیجه مطالعات جدید در زمینه نقش عوامل آواشناختی (مانند عوامل تولیدی و ادراکی) در پدیده‌های واج‌شناختی بسیار ثمربخش بوده است. واج‌شناسی مبتنی بر آواشناسی حاصل رهیافت‌های واج‌شناختی مبتنی بر فیزیک صوت است (۱-۴). در این ارتباط در ادامه دو نظریه جواز ادراکی<sup>۱</sup> و توزیع تقابلی<sup>۲</sup> معرفی می‌شود. نظریه "جواز ادراکی" (۴). مبتنی بر نقش آواشناسی در واج‌شناسی است. بر اساس این نظریه، رخداد یک دنباله آوایی<sup>۳</sup> ارتباط بسیار نزدیکی با میزان جواز ادراکی‌ئی دارد که یک بافت در اختیار آن آوا قرار می‌دهد. تعریف جواز ادراکی عبارت است از وضوح و مقاوم بودن گفتار در شرایط نویزی (۴). هر میزان که ویژگی واجی F متعلق به آوای S در بافت C از نظر شنیداری مقاوم‌تر باشد، احتمال اینکه آوای S بر اساس مقادیر مختلف ویژگی F تمایز واجی ایجاد کند بیشتر و در مقابل هر چه در یک بافت جواز ادراکی یک ویژگی کمتر باشد، احتمال خنثا شدن تمایز واجی بر اساس آن ویژگی در آن بافت کمتر می‌شود. البته کوچتف (۵) با استفاده از تقابل کامی‌شدگی ساده<sup>۴</sup> در هم‌خوان‌های انفجاری تیغه‌ای<sup>۵</sup> در مقابل تبیین کاملاً آواشناختی شواهدی از پدیده‌های واج‌شناختی ارائه کرده است.

"توزیع تقابلی" نظریه دیگری است برای تبیین الگوهای واج‌شناختی که طراح آن فلیمنگ (۱، ۶، ۷) است. این نظریه مبتنی بر اثرگذاری کارکردهای ارتباطی زبان بر شکل‌گیری الگوهای واج‌شناختی است. بر اساس این نظریه، توزیع تقابلی‌های واج‌شناختی بر پایه سه هدف ارتباطی شکل گرفته‌اند:

• بیشینه کردن تعداد تقابلی‌ها؛

• بیشینه کردن تمایز ادراکی تقابلی‌ها؛

• کمینه کردن تلاش در جهت تولید تقابلی‌ها.

تقابل بیشتر باعث می‌شود تعداد واژگان در زبان افزایش یابد و ارتباطات با استفاده از واژگان بیشتر پیچیده‌تر و گسترده‌تر شود. هر چه تمایز ادراکی ویژگی‌های ممیز بیشتر باشد، سیگنال گفتار نسبت به نوفه مقاوم‌تر است و بهتر شنیده می‌شود. کمینه بودن تلاش در جهت تولید ویژگی‌های ممیز کمک می‌کند تا با صرف انرژی کمتر اطلاعات بیشتری در ارتباط منتقل

1. Licensing by Cue Hypothesis	4. Plain-Platalized
2. Dispersion Theory of Contrasts	5. Coronal
3. Segment sequence	6. Formant Transition
	7. Stop Release Burst
	8. Pole Zero Patterns

داشته باشند. به دلیل تمایز بیشتر ویژگی‌های شیوه تولید نسبت به محل تولید و ویژگی واک‌داری، اگر نظریه جواز ادراکی درست باشد، می‌بایست میزان تمایز واجی ایجاد شده با استفاده از ویژگی شیوه تولید بیشتر از محل تولید و میزان تمایز واجی ایجاد شده با استفاده از ویژگی محل تولید نیز بیشتر از ویژگی واک‌داری باشد.

هدف دیگر این مطالعه، معرفی آنالیز پی است که یک تحلیل آماری است و توزیع ویژگی‌های ممیز را از بافت‌های مختلف دنباله‌های آوایی استخراج می‌کند. فرض این است که اگر یک کلید ادراکی در یک بافت ضعیف است، به صورت در زمانی و به تدریج تمایزات واجی ایجاد شده با استفاده از آن ویژگی به دلیل تغییرات واجی کاهش یافته و این کاهش با استفاده از آنالیز پی می‌تواند دریافت شود. آنالیز پی می‌تواند توزیع تمایزات واجی را بر اساس ویژگی‌های ممیز واژگان به صورت وابسته به بافت استخراج و برای مطالعه میزان قوی بودن سرنخ‌های ادراکی در بافت‌های مختلف راه‌کارهای اثربخش ارائه کند.

هدف آنالیز پی استخراج توزیع ویژگی‌های ممیز از واژگان بر اساس بافت است. فرض آنالیز پی این است که اگر عوامل ادراکی بر الگوهای واج‌شناختی مؤثرند، واژگان می‌بایست به صورت در زمانی با استفاده از تغییرات واجی از نظر شنیداری رو به بهینه شدن داشته باشند، به طوری که تعداد زیادی از تمایزات واجی ایجاد شده در واژگان در بافتی باشد که برای آن تمایز سرنخ‌های ادراکی قوی وجود دارد. برای مثال، در هجای CVCC سرنخ‌های ادراکی واک‌داری در بافت پیش‌هم‌خوانی ضعیف‌تر از بافت‌های پیش‌واکه‌ای هستند. بنابراین بسامد تمایزات موجود با مشخصه واک‌داری می‌بایست در بافت‌های پیش‌واکه بیش از بافت‌های پیش‌هم‌خوان باشد. برای یافتن توزیع ویژگی‌های ممیز تعریف جفت‌کمینه مشخصه‌ای<sup>۵</sup> و جفت‌کمینه دنباله واجی<sup>۶</sup> مورد نیاز است. یک جفت‌کمینه شامل دو دنباله آوایی است که در همه

سایه‌های بر خلاف هم‌خوان‌های انفجاری سرنخ‌هایی دارند که محل تولید آنها را مستقل از بافت پسین قابل بازیابی می‌کند. کناری‌ها نیز دارای سرنخ‌های ادراکی هستند که می‌توانند حتی در کل یک هجا پخش شوند (۱۶). به دلیل حساسیت بیشتر سرنخ‌های ادراکی ویژگی محل تولید در هم‌خوان‌های انفجاری، کلیه زبان‌ها به صورت جهانی محدودیت‌های بیشتری بر واج‌آرایی و محل قرار گرفتن این هم‌خوان‌ها در دنباله آوایی اعمال می‌کنند.

از نظر شیوه تولید، هم‌خوان‌ها را با استفاده از میزان ارتعاش در سیگنال گفتار، به عنوان یک کلید شناختی می‌توان تمایز کرد. برای مثال، یک تغییر ناگهانی در سیگنال نشانه یک هم‌خوان انفجاری است. ارتعاش کامل در طول آوا همراه با نوفه سایشی نشانگر یک هم‌خوان سایشی است. افت دامنه سیگنال هم‌خوان‌های خیشومی معمولاً کمتر از هم‌خوان‌های سایشی است. هم‌خوان‌های خیشومی همچنین از الگوهای قطب-صفر به عنوان کلید شیوه تولید خیشومی بهره می‌برند. سرنخ‌های ادراکی مرتبط با ویژگی شیوه تولید، قوی‌تر و در مقابل نوفه مقاوم‌تر از سرنخ‌های شناختی محل تولید و واک‌داری هستند (۱۶). سرنخ‌های ادراکی مرتبط با واک‌داری شامل منظم بودن، زمان آغاز واک<sup>۱</sup> و دمش<sup>۲</sup> است.

مطالعه سرنخ‌های ادراکی نشان داده است که سرنخ‌های مرتبط با واک‌داری ضعیف‌تر از سرنخ‌های ادراکی مرتبط با ویژگی محل تولید و این دو نیز ضعیف‌تر از سرنخ‌های شناختی مرتبط با ویژگی شیوه تولید هستند. این موضوع به خصوص در محیط پیش‌هم‌خوانی صادق است. بنابر نظریه جواز ادراکی در صورتی که سرنخ‌های ادراکی یک ویژگی واجی در یک بافت ضعیف باشند، احتمال اینکه یک آوا در آن بافت بر اساس مقادیر مختلف آن ویژگی تمایز شود، کمتر است و در این حالت ویژگی ممیز اصطلاحاً خنثی<sup>۳</sup> می‌شود.

هدف این پژوهش، بررسی نظریه جواز ادراکی (۴) در زمینه خنثا شدن تمایزات هم‌خوان‌ها در بافت‌های پیش‌هم‌خوانی است. بر اساس این نظریه پیش‌بینی می‌شود که دنباله‌های آوایی تمایز بیشتر را با استفاده از ویژگی‌هایی نشان دهند که در یک بافت ادراکی قوی هستند و به عکس تمایز کمتر را بر اساس ویژگی‌هایی نشان دهند که در یک بافت سرنخ‌های ادراکی ضعیفی

1. Voice Onset Time (VOT)
2. Aspiration noise
3. Neutralize
4. Contrast Neutralization
5. Featural Minimal Pair
6. Sequence Minimal Pair

نیستند، چون /b/ و /t/ یک جفت کمینه مشخصه‌ای را تشکیل نمی‌دهند. تعریف جفت کمینه مشخصه‌ای با تعریف جفت کمینه‌ای، که معمولاً در مطالعات واج‌شناختی مطرح می‌شود، متفاوت است. جفت کمینه در واج‌شناختی به صورت دو دنباله از دنباله‌های آوایی تعریف می‌شود که فقط در یک آوا/واج با هم تفاوت دارند. از جفت‌های کمینه معمولاً برای استخراج فهرست واج‌های یک زبان ناشناخته استفاده می‌شود، در حالی که ویژگی جفت کمینه در شناخت ویژگی‌های ممیز کاربرد دارد. جدول ۱ تمامی جفت‌های کمینه مشخصه‌ای ممکن، ویژگی ممیز مربوطه و سرخ‌های صوتی آن را در زبان فارسی معیار نشان می‌دهد.

آنالیز پی با استخراج جفت‌های کمینه مشخصه‌ای با توجه به موضوع و اهداف مطالعه از واژگان آغاز می‌شود. مثلاً، برای استخراج توزیع ویژگی ممیز شیوه تولید، محل تولید و واک‌داری در بافت‌های مختلف در هجاهای CVCC واژگان زبان فارسی می‌بایست تمامی

ویژگی‌های ممیز (به جز یک ویژگی) با هم اشتراک دارند. برای مثال، واج‌های /b/ و /p/ یک جفت کمینه مشخصه‌ای را تشکیل می‌دهند، زیرا آنها در همه ویژگی‌های واج‌شناختی (به جز واک‌داری) مشترک‌اند. همچنین /b/ و /d/ نیز یک جفت کمینه مشخصه‌ای را تشکیل می‌دهند که فقط در ویژگی محل تولید تفاوت دارند. دنباله آوایی /b/ و /t/ یک جفت کمینه مشخصه‌ای نیستند، چرا که علاوه بر ویژگی واک‌داری، در ویژگی محل تولید نیز متفاوت‌اند. یک جفت کمینه دنباله واجی به دو دنباله آوایی اطلاق می‌شود که فقط در یک آوا با یکدیگر تفاوت دارند و این دو آوای متفاوت نیز تشکیل یک جفت کمینه مشخصه‌ای می‌دهند. مثلاً، دنباله‌های /band/ و /pand/ یک جفت کمینه دنباله واجی را تشکیل می‌دهند، زیرا فقط در /b/ و /p/ تفاوت دارند و این دو آوا نیز جفت کمینه مشخصه‌ای هستند. به همین صورت /band/ و /dand/ نیز یک جفت کمینه دنباله واجی‌اند اما /band/ و /tand/

جدول ۱ - جفت‌های کمینه مشخصه‌ای زبان فارسی

سرخ‌های صوتی	جفت‌های کمینه مشخصه‌ای	تعداد جفت‌های کمینه مشخصه‌ای	ویژگی ممیز
درجه تغییر سیگنال <sup>۱</sup>	(b, m) (b, w) (b, v) (č, t) (č, s) (č, š) (d, n) (d, r) (d, z) (d, l) (d, j) (d, ž) (f, p) (g, y) (j, n) (j, r) (j, z) (j, l) (j, d) (j, ž) (k, x) (l, z) (l, r) (l, d) (l, n) (l, ž) (l, j) (m, w) (m, b) (m, v) (n, z) (n, r) (n, l) (n, d) (n, j) (n, ž) (p, f) (G, y) (r, d) (r, z) (r, j) (r, n) (r, ž) (r, l) (s, t) (s, č) (š, t) (š, č) (t, s) (t, š) (t, č) (v, b) (v, m) (v, w) (w, b) (w, v) (w, m) (x, k) (y, g) (y, G) (z, r) (z, n) (z, l) (z, d) (z, j) (ž, r) (ž, n) (ž, l) (ž, d) (ž, j)	۷۰	شیوه تولید
گذر فرمانتی رهش انفجاری قطب-صفر خیشومی نوفه سایشی	(?, b) (?, G) (?, d) (?, g) (b, ?) (b, G) (b, d) (b, g) (d, G) (d, ?) (d, b) (d, g) (f, s) (f, š) (f, x) (f, h) (g, ?) (g, d) (g, b) (h, s) (h, x) (h, f) (h, š) (k, t) (k, p) (m, n) (n, m) (p, t) (p, k) (G, d) (G, b) (G, ?) (s, f) (s, x) (s, h) (š, x) (š, f) (š, h) (t, k) (t, p) (v, z) (v, ž) (w, y) (x, s) (x, f) (x, š) (x, h) (y, w) (z, v) (ž, v)	۵۰	محل تولید
منظم بودن زمان آغاز واک دیرش دمش <sup>۲</sup>	(b, p) (č, j) (d, t) (f, v) (g, k) (j, č) (k, G) (k, g) (p, b) (G, k) (s, z) (s, ž) (š, ž) (š, z) (t, d) (v, f) (z, š) (z, s) (ž, š) (ž, s)	۲۰	واک‌داری

1. duration, 2. degree of signal attenuation

for each consonant in  $C_2$  position of  $C_2C_3$   
 consonant cluster  
 for each  $C_{21}$  in  $C_2$  position  
 for each  $C_{22}$  in  $C_2$  position  
 If  $C_{21}$  and  $C_{22}$  are featural minimal pair  
 feature <- Contrastive Feature of  $C_{21}$   
 and  $C_{22}$   
 $freq \leftarrow \min(\text{frequency of } C_{21}C_3,$   
 $\text{frequency of } C_{22}C_3)$   
 $frequencies(C_3, \text{feature}) \neq freq$

شکل ۲- الگوریتم آنالیزی

تدوین شده است. این دادگان شامل ۵۴ هزار و ۴۰۹ واژه زبان فارسی و نگارش واجی آنهاست. به دلیل سادگی ساختار هجایی زبان فارسی و ممنوع بودن آغازهای ترکیبی در این زبان هجابندی واژگان به صورت قطعی و به سادگی انجام می پذیرد. هجاهای زبان فارسی به اشکال CV, CVC, CVCC است.

استفاده از آنالیز پی برای استخراج توزیع ویژگی های ممیز در بافت پیش هم خوانی در هجاهای CVCC واژگان زبان فارسی

در این آزمایش توزیع ویژگی های ممیز در بافت پیش هم خوانی با استفاده از آنالیز پی مطالعه می شود. هدف این آزمایش، بررسی میزان هم خوانی توزیع ویژگی های ممیز در محیط پیش هم خوانی با میزان جواز ادراکی بافت برای آن ویژگی هاست. بر اساس بررسی های رایت (۱۶)، سرنخ های ادراکی در بافت پیش هم خوانی از ویژگی شیوه تولید به محل تولید و از ویژگی محل تولید به ویژگی واکداری کاهش می یابد. بنابراین بنا بر نظریه جواز ادراکی و بر اساس تغییرات در زمانی می بایست بین میزان قدرت سرنخ های ادراکی و بسامد تمایزات ایجاد شده در ماتریس خروجی آنالیز پی یک ارتباط مستقیم مشاهده شود (شکل ۲).

بر اساس روال آنالیز پی همه ۵۴ هزار و ۴۰۹ واژه موجود در واژگان FLexicon بر اساس قواعد هجابندی زبان فارسی هجابندی شدند. هر هجا در زبان فارسی با یک هم خوان آغاز می شود و تا یک هم خوان قبل از واکه بعدی ادامه می یابد. پس از هجابندی ۲۶۸ خوشه، هم خوانی  $C_2C_3$  از هجاهای  $C_1VC_2C_3$  به دست آمد و بسامد (بسامد نوع ۱) هر خوشه هم خوانی

	Context <sub>1</sub>	Context <sub>2</sub>	Context <sub>i</sub>
Place	freq	freq	...
Manner	freq	freq	...
Voice	freq	freq	...

شکل ۱- نمایی از ماتریس ویژگی-بافت منتج از آنالیز پی

جفت های کمینه دنباله به صورت CVCC از واژگان استخراج شود. به عنوان مثالی دیگر اگر هدف مطالعه بررسی توزیع ویژگی های ممیز در محیط پیش هم خوانی در دنباله های آوایی در هجای CVCC زبان فارسی باشد، می بایست تمامی جفت های کمینه دنباله مشخصه ها به صورت  $C_2C_3$  از دنباله های  $C_1VC_2C_3$  استخراج شوند. در زیر الگوریتم اصلی آنالیز پی ارائه شده است.

الف) بر اساس اهداف مطالعه تمامی جفت دنباله کمینه ویژگی ها را استخراج کن.  
 ب) برای هر جفت دنباله کمینه، ویژگی بافت و ممیز را مشخص و نشانه گذاری کن.

ج) بسامد رخداد همه دوتایی های به شکل context, contrasting feature را محاسبه کن.

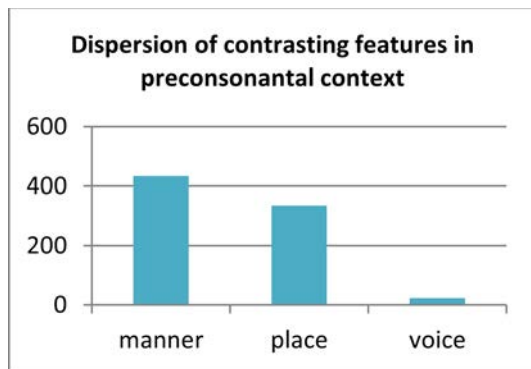
در پایان آنالیز پی یک ماتریس ویژگی-بافت ایجاد می شود که مقدار هر درایه آن برابر با میزان رخداد یک تمایز در یک بافت است. شکل ۱ این ماتریس را نشان می دهد.

از آنالیز پی می توان هم زمان در یافتن توزیع یک یا چند ویژگی ممیز در یک یا چند بافت استفاده کرد؛ مثلاً برای یافتن توزیع تمامی ویژگی های ممیز در بافت پیش از هم خوان انفجاری واکدار لبی /b/ در تمامی خوشه های هم خوانی به شکل  $C_2b$  (چند ویژگی ممیز در یک بافت) و یا برای استخراج توزیع ویژگی ممیز واکداری (یک ویژگی ممیز) در تمامی بافت های ممکن (یک ویژگی ممیز در چندین بافت). الگوریتم های مشابه آنالیز پی در پژوهش های دیگری معرفی شده اند تا ویژگی های ممیز را بیابند اما این الگوریتم ها برای اهدافی غیر از یافتن میزان بهینه بودن واژگان (از نظر توزیع ویژگی های ممیز در بافت های مختلف) به کار رفته اند (۱۸).

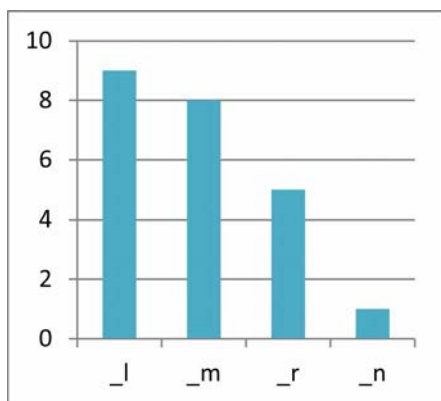
روش

همانند واژگان CELEX که پایگاه داده ای مختص چند زبان ژرمنی مانند انگلیسی، فرانسه، هلندی و ... است (۱۹)، واژگان FLexicon (۲۰) برای زبان فارسی

1. Type Frequency



شکل ۳- توزیع ویژگی‌های ممیز در بافت پیش‌هم‌خوانی در هجای CVCC واژگان زبان فارسی



شکل ۴- بسامد بافت‌های هم‌خوانی (/C/) که تمایز واک-داری پیش از آنها رخ داده است.

بسامد  $frequencies[_and, voice]$  به ۲۰۰ افزوده شد؛ یعنی این دو دنباله در این بافت با استفاده از ویژگی واک‌داری ۲۰۰ بار تمایز ایجاد کرده‌اند.

### یافته‌ها

نمودار ۱ نتایج آنالیز پی را روی خوشه‌های هم‌خوانی  $C_2C_3$  از هجای CIVC2C3 استخراج شده از واژگان زبان فارسی نشان می‌دهد (بخش ۲، ۲). هم‌خوانی‌های موجود در جایگاه  $C_3$  بافت پیش‌هم‌خوانی را برای هم‌خوانی‌های جایگاه  $C_2$  فراهم می‌کنند. تمایزات ایجاد شده در موقعیت  $C_2$  باعث تمایز معنایی می‌شوند. ۷۹۱ جفت دنباله کمینه ویژگی یافت شد که از این تعداد ۴۳۳ جفت در ویژگی شیوه تولید، ۳۵۵ جفت در ویژگی محل تولید و ۲۳ جفت در ویژگی واک‌داری تمایز داشتند. بر اساس الگوریتم آنالیز پی، بسامد هر تمایز برابر با کمینه بسامد نوع<sup>۱</sup> هر عضو از یک جفت دنباله کمینه ویژگی در واژگان است. برای مثال،

1. Minimal type frequency

با استفاده از شمارش محاسبه شد. برای هر هم‌خوان در موقعیت  $C_3$  در خوشه  $C_2C_3$  تمامی جفت‌کمینه مشخصه‌ها در موقعیت  $C_3$  استخراج شد. ویژگی‌های استفاده شده برای استخراج جفت‌کمینه‌ها، شیوه تولید، محل تولید و واک‌داری بودند.

توزیع ویژگی‌های ممیز با شمارش تعداد دفعاتی که هر ویژگی در جایگاه  $C_2$  و در بافت پیش‌هم‌خوانی ( $C_3$ ) در خوشه‌های هم‌خوانی  $C_2C_3$  تمایز ایجاد کرده بود استخراج شد. به عنوان مثال، برای همه خوشه‌های هم‌خوانی به شکل  $C_2r$  تمامی جفت دنباله کمینه ویژگی‌های موجود استخراج و ویژگی‌های ممیز آنها شمرده شد. برای هر ویژگی ممیز بسامد تمایز در بافت پیش‌هم‌خوانی  $C_3$  (در اینجا /r/) محاسبه شد. الگوریتم آنالیز پی به صورت سودوکو در شکل ۳ آمده است.

در پایان آنالیز پی برای همه بافت‌ها و همه ویژگی‌ها، تعداد دفعاتی که یک ویژگی در آن بافت تمایز ایجاد کرده محاسبه و در یک ماتریس ذخیره می‌شود.

استفاده از آنالیز پی برای مقایسه ویژگی‌های ممیز در جایگاه‌های هم‌خوانی هجای CVCC در واژگان زبان فارسی

در اینجا از آنالیز پی برای یافتن توزیع ویژگی‌های شیوه تولید محل تولید و واک‌داری در جایگاه‌های هم‌خوانی  $C_2$ ،  $C_1$  و  $C_3$  در هجای CVCC استفاده شده است. هدف از آنالیز پی در این آزمایش سنجش ارتباط توزیع ویژگی‌ها در بافت‌های مختلف با میزان جواز ادراکی آن بافت‌ها برای ویژگی‌ها بر اساس دو نظریه جواز ادراکی و توزیع ویژگی‌های ممیز است. در اینجا برای هجابندی و یافتن جفت‌های کمینه، دوباره نگارش واجی واژگان در آنالیز پی به کار رفت. همه هجاهای به شکل CVCC به همراه بسامد رخداد آنها در واژگان (بسامد نوع) از واژگان استخراج شد. با توجه به الگوریتم آنالیز پی همه جفت‌دنباله‌های کمینه ویژگی یافته شد. برای هر بافت هم‌خوانی در جایگاه‌های  $C_2$ ،  $C_1$  و  $C_3$  در دنباله‌های  $C_1VC_2C_3$  مشخصه ممیز استخراج و بسامد آن شمرده شد. همانند آزمایش قبل برای هر جفت دنباله کمینه مشخصه‌ها  $frequencies[context, feature]$  به تعداد کمینه، بسامد نوع اعضای یک جفت کمینه اضافه شد. مثلاً " برای /band/ و /pand/ با بسامد نوع ۲۰۰ و ۳۰۰،

جدول ۲ - جفت دنباله کمینه‌های موجود در زبان فارسی بر اساس تمایز ویژگی واکداری در بافت پیش‌همخوانی هجای CVCC واژگان زبان فارسی

جفت دنباله‌های کمینه	تعداد تمایز	بافت پیش‌همخوانی
(/?asI/, /?azI/)	9	_l
(/fasI/, /fazI/)		
(/rasm/, /razm/)	8	_m
(/?osr/, /?ozr/)	5	
(/?oSr/, /?ozr/)		
(/nasr/, /nazr/)		_r
(/naSr/, /nazr/)		
(/satr/, /sadr/)		
(/hosn/, /hozn/)	1	_n

واکداری به کار رفته پیش از هم‌خوان‌های روان و خیشومی است. در سایر بافت‌ها ویژگی واکداری دچار خنثا شدگی شده و مقادیر مختلف آن تمایز معنا ایجاد نمی‌کنند. مثلاً، در زبان فارسی جفت کمینه */sb/* و */zb/* در هیچ یک از هجاهای */CV\_b/* وجود ندارد.

جدول ۲ جفت دنباله کمینه ویژگی‌هایی را که در ویژگی واکداری با یکدیگر تفاوت دارند نشان می‌دهد. نکته بسیار جالب این است که این معدود تمایزات را واژگان قرصی عربی ایجاد کرده‌اند. شایان ذکر است که این کلمات در زبان عربی غالباً با درج واکه بین خوشه دو هم‌خوانی تولید می‌شوند.

در شکل ۵ توزیع ویژگی‌های شیوه تولید، محل تولید و واکداری در جایگاه‌های مختلف هم‌خوانی نشان داده شده است (بخش ۲، ۳). همان طور که مشاهده می‌شود، تمایزات ایجاد شده با استفاده از ویژگی واکداری در بافت پیش‌همخوانی  $C_2$  کمینه و در بافت پیش‌واکه‌ای  $/\_VCC/$  بیشینه است.

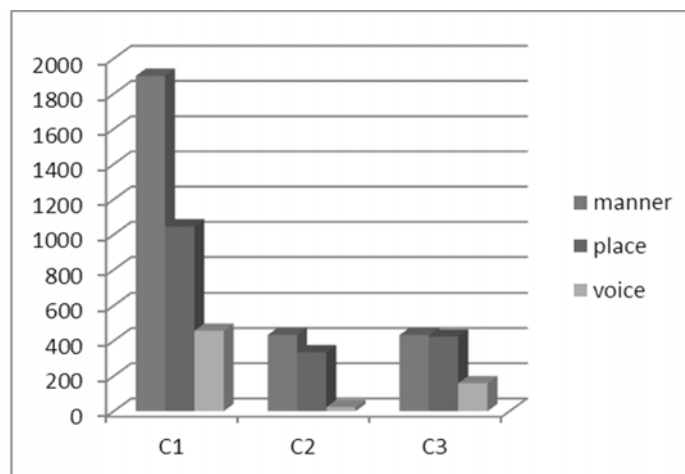
همان طور که در شکل ۵ نیز مشاهده می‌شود، بسامد کلی تمایزات در جایگاه  $C_1$  و در بافت پیش‌واکه‌ای بسیار بیشتر از سایر بافت‌هاست (۳۴۰۴ تمایز). همچنین تعداد کل تمایزات در جایگاه  $C_2$  در بافت پیش‌همخوانی کمینه (۷۹۱ تمایز) و در جایگاه  $C_3$  در بافت پس‌همخوانی پایانه متوسط (۱۰۱۵ تمایز) است. تعداد تمایزات از ویژگی شیوه تولید به محل تولید و از ویژگی محل تولید به واکداری کاهش می‌یابد.

### بحث و نتیجه‌گیری

نتایج آنالیز پی روی توزیع تمایزات ویژگی‌ها در بافت پیش‌همخوانی، خوشه‌های هم‌خوانی هجای CVCC را

در صورتی که دنباله */bl/* دارای فرکانس نوع ۲۰۰ (یعنی ۲۰۰ هجای CVbl متمایز در واژگان موجود است) و دنباله */pl/* دارای فرکانس نوع ۳۰۰ باشد، ویژگی واکداری در بافت پیش‌همخوانی */\_l/* ۲۰۰ تمایز (مقدار کمینه دو بسامد) ایجاد کرده است، بنابر این  $frequencies[l, voice]$  ۲۰۰ واحد افزایش می‌یابد.

با اینکه نتایج در شکل ۳ به صورت تجمعی نمایش داده شده، آنالیز پی توزیع مشخصات را به ازای هر بافت هم‌خوانی و هر ویژگی به دست می‌دهد. برای پی بردن به این موضوع که تمایزات واکداری در جایگاه  $C_2$  در کدام بافت‌های پیش‌همخوانی به کار رفته‌اند از خروجی آنالیز پی استفاده شد. دلیل این توجه ویژه، تعداد اندک تمایزات واکداری در بافت پیش‌همخوانی است. شکل ۴ همه بافت‌های پیش‌همخوانی (که تمایز واکداری جهت ایجاد معانی جدید در واژگان زبان فارسی به کار رفته است) را نشان می‌دهد. همان طور که شکل ۴ نشان می‌دهد، فقط بافت‌هایی که در آنها تمایز



شکل ۵- توزیع ویژگی‌های ممیز در بافت‌ها و جایگاه‌های مختلف هم‌خوانی در هجای CVCC در واژگان زبان فارسی

(جدول ۲). بسیار جالب است که در بین واژگان غیرقرصی حتا یک تمایز واکداری مشاهده نشده است. نتایج به دست آمده از آنالیز پی بر هجاهای  $C_1VC_2C_3$  حاکی از آن است که تمامی ویژگی‌ها در بافت پیش‌واکه‌ای نسبت به بافت انتهای هجا (جایگاه  $C_3$ ) و این بافت نسبت به بافت پیش‌هم‌خوانی (جایگاه  $C_2$ ) تمایز بیشتری را نشان می‌دهند. توزیع تمایزات در این سه بافت کاملاً با قدرت سرخ‌های ادراکی در این بافت‌ها مطابقت دارد. قدرت سرخ‌های ادراکی در بافت پیش‌واکه‌ای بیشترین، در بافت آخر پایانه متوسط و در بافت پیش‌هم‌خوانی کمترین است (۱۶). الگوی توزیع تمایزات بر الگوی قدرت سرخ‌های ادراکی کاملاً "منطبق است. این شواهد تأییدی بر نقش عوامل آوایی مانند قدرت سرخ‌های ادراکی بر الگوها و پدیده‌های واج‌شناختی است.

با توجه به نقش مؤثر سرخ‌های شنیداری-درکی در شکل‌دهی به ساختار زبان، در این مقاله آنالیز پی در جهت یافتن الگوی توزیع ویژگی‌های ممیز در بافت‌های مختلف واژگان زبان معرفی شد. آنالیز پی در دو مورد توزیع مشخصات در بافت پیش‌هم‌خوانی و نیز توزیع مشخصات در تمامی جایگاه‌های هم‌خوانی CVCC در واژگان زبان فارسی انجام شد. نتایج به دست آمده از آنالیز پی بر نظریه‌های تبیین واج‌شناختی بر اساس آواشناسی (مانند نظریه جواز ادراکی و توزیع تمایزات) منطبق است و شواهدی در تحکیم این نظریه‌ها ارائه می‌کند. همچنین آنالیز پی نشان داد که می‌تواند در استخراج الگوی توزیع ویژگی‌های ممیز به خصوص در بافت‌های مختلف بسیار روشن‌گر باشد.

نشان می‌دهد که توزیع تمایز ویژگی‌ها کاملاً بر پیش‌بینی‌های نظریه جواز ادراکی و نظریه توزیع تمایز منطبق است. بسامد تمایزات ایجاد شده در بافت پیش‌هم‌خوانی برای ویژگی‌های شیوه تولید، محل تولید و واکداری به ترتیب کاهش یافته است (شکل ۳). بر اساس نتایج تحقیقات رایت (۱۶)، سرخ‌های ادراکی ویژگی شیوه تولید قوی‌تر از ویژگی محل تولید و سرخ‌های ادراکی ویژگی محل تولید قوی‌تر از ویژگی واکداری است. قوی بودن سرخ‌های ادراکی در بافت پیش‌هم‌خوانی کاملاً با بسامد تمایزات ایجاد شده همسو است. هر چه یک ویژگی واجی سرخ‌های ادراکی قوی‌تری در یک بافت داشته باشد از آن ویژگی در آن بافت جهت ایجاد تمایز معنایی در واژگان بیشتر استفاده شده است. این شواهد آماری که نتیجه آنالیز پی است از تبیین واج‌شناختی بر اساس آواشناسی پشتیبانی می‌کند و بر نظریه‌های جواز ادراکی و توزیع تمایز نیز کاملاً منطبق و تأییدی بر آنهاست.

ویژگی واکداری نسبت به شیوه و محل تولید ضعیف‌ترین سرخ‌های ادراکی را در بافت پیش‌هم‌خوانی دارد. نتایج نشان می‌دهد که از ۷۹۳ تمایز ایجاد شده در بافت پیش‌هم‌خوانی فقط اساس ۲۳ تمایز ویژگی واکداری است. این ۲۳ تمایز در بافت پیش از هم‌خوان‌های رسا (روان‌ها و خیشومی‌ها) ایجاد شده‌اند (شکل ۴). این نتایج تأییدی بر قوی‌تر بودن سرخ‌های ادراکی ویژگی واکداری در بافت پیش از هم‌خوان‌های رسا از هم‌خوان‌های نارساست. در زبان فارسی ویژگی واکداری در بافت پیش‌هم‌خوانی گرفته (مانند هم‌خوان‌های انفجاری، سایشی و انسایشی) دچار خنثاشدگی شده و تمایز معنایی ایجاد نمی‌کند.

شاهد دیگری که بر اساس خروجی آنالیز پی مشخص شده این است که تمامی جفت‌کمینه‌هایی که با استفاده از تمایز در ویژگی واکداری در بافت پیش‌هم‌خوانی وجود دارند، بخشی از واژگان قرض گرفته شده از زبان‌های دیگر و به خصوص زبان عربی هستند

دریافت: ۹۱/۱۲/۷ ; پذیرش: ۹۲/۱۲/۱۵

#### منابع

1. Flemming E. *Auditory features in phonology [dissertation]*. Los Angeles: UCLA; 1995.
2. Jun J. *Perceptual and articulatory factors in place assimilation: An optimality theoretic approach [dissertation]*. Los Angeles: UCLA 1995.
3. Silverman D. *Phrasing and recoverability [dissertation]*. London: Routledge; 1997.
4. Steriade D. *Phonetics in phonology: the case of laryngeal neutralization*. Unpublished manuscript. Ms, UCLA; 1997.
5. Kochetov A. Testing Licensing by Cue: A case of Russian palatalized coronals. *Phonetica* 2006;63(2-3):113-48.
6. Flemming E. Contrast and perceptual distinctiveness. *Phonetically Based Phonology* 2004; 232-76.
7. Flemming E. *The role of distinctiveness*



- constraints in phonology*. Unpublished manuscript, MIT; 2006.
8. Zipf GK. Human behavior and the principle of least effort. *An Introduction to Human Ecology*. Cambridge, Massachuset: Addison Wesley; 1949.
  9. Martinet A. Function, structure and sound change. *Journal of the International Linguistic Association* 1952;8(1):1-32.
  10. Lindblom B. Economy of speech gestures. *The production of speech* 1983;217-245.
  11. Labov W. *Principles of language change: Internal factors*. Oxford: Blackwell; 1994.
  12. Ohala JJ. The origin of sound patterns in vocal tract constraints. *The production of speech* 1983;189-216.
  13. Trask RL, Trask R. *Historical linguistics*. Arnold London: New York; 1996.
  14. Kawasaki H, & Ohala JJ. Acoustic basis for universal constraints on sound sequences. *The Journal of the Acoustical Society of America* 1980;68(S1):S33-S33.
  15. Kirchner R. Contrastiveness and faithfulness. *Phonology* 1997;14(1):83-111.
  16. Wright R. A review of perceptual cues and cue robustness. *Phonetically based phonology* 2004;34-57.
  17. Ohala JJ. The segment: primitive or derived. *Papers in Laboratory Phonology II: Gesture, Segment Prosody* 1992;166-183.
  18. Archangeli D. Aspects of underspecification theory. *Phonology* 1988;5(02):183-207.
  19. Baayen RH, Piepenbrock R, van HR. The {CELEX} lexical data base on {CD-ROM}. 1993.
  20. Eslami M, Atashgah MSH, Lamjiri A, Zandi T. Persian generative lexicon. Processing of 1<sup>st</sup> workshop on Persian and computer; 2004.[Persian].