

## توزیع رسایی در خوشه دوهمخوانی مرزهجادر زبان فارسی

بهرام وزیرنژاد  
bahram@sharif.edu

آزمایشگاه پردازش گفتار و زبان، مرکز  
زبان‌ها و زبان‌شناسی، دانشگاه صنعتی  
شریف

محرم اسلامی  
meslami@znu.ac.ir  
دانشکده زبان شناسی،  
دانشگاه زنجان

افشینرحیمی  
a\_rahimi@ce.sharif.edu  
آزمایشگاه پردازش گفتار و زبان، مرکز زبان‌ها و  
زبان‌شناسی، دانشگاه صنعتی شریف

دریافت: ۹۱/۷/۱۱

تصویب: ۹۲/۸/۲۶

## **Abstract**

In this study, the sonority patterns in syllable contact of CVC-CVC structures in Persian are investigated. Syllable Contact Law is the tendency for C-C consonant clusters in the boundary of syllables to have a falling sonority slope. In this experiment 4202 syllable contacts are extracted from FLexicon and the relation between sonority slope and type/token frequency is investigated. The results show that Persian doesn't have any categorical constraint for rising sonority patterns so there is no unacceptable level of sonority rise in syllable contact. The study of gradient lexical reflexes of syllable contact in Persian shows that the more unmarked patterns (falling sonority slope) are more frequent in lexicon (type frequency). This is shown to be the result of the tendency for non-sonorants (e.g. stops) to occur in onset position and for sonorants (e.g. fricatives, nasals, liquids) to occur in coda position. Pointwise Mutual Information (PMI) between sonority slope and frequency indicates that they are independent. In other words a consonant (sonorant or non-sonorant) in coda position doesn't impose any restriction on the sonority of the following onset consonant in Persian syllable contact. It also supports that Syllable Contact Law is not highly active in Persian and sonority patterns shaped by the tendency for sonorants to occur in coda position and for non-sonorants to occur in onset position. This tendency provides evidence for a phonetic-perceptual based account of sonority patterns in syllable contact as Licensing by Cue hypothesis proposes.

در این مقاله توزیع رسایی در خوشه‌های دوهمخوانیمرز دو هجای CVC-CVC در واژه‌های زبان فارسی مورد بررسی قرار گرفته است. محدودیت رسایی در مرز هجا بیانگر تمایل جهانی در جهت تغییر افتان رسایی همخوانها در مرز هجا است. در این بررسی تعداد ۴۲۰۲ واژه از واژگان زبانی فارسی که دارای ساختار هجایی CVC.CVC بودند، مطالعه شده‌اند. همخوان‌های زبان فارسی از نظر رسایی به ۵ طبقه مختلف تقسیم شده و ارتباط شیب رسایی در مرز هجا و بسامد در واژگان مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجا که بی‌نشانی یک ساختار باعث افزایش بسامد آن به صورت هم‌زمانی و در زمانی می‌گردد، می‌توان میزان بی‌نشانی یک ساختار را از بسامد آن دریافت. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که افتان بودن شیب رسایی در خوشه‌های دوهمخوانی در مرز هجاهای CVC در زبان فارسی به صورت مقوله‌ای عمل نکرده و ساختارها را به دو طبقه خوش‌ساخت و غیرخوش‌ساخت تقسیم نمی‌کند. همچنین در سطح واژگان بسامد خوشه‌های دوهمخوانی با کاهش شیب رسایی (از ۴+ به ۴-) افزایش می‌یابد. دلیل افزایش بسامد تمایل بیشتر همخوان‌های با رسایی پایین مانند انفجاری‌ها و انسایشی‌ها به حضور در جایگاه آغاز و عدم تمایل آن‌ها به حضور در جایگاه پایانه می‌باشد. همچنین همخوان‌های رساتر مانند سایشی‌ها، خیشومی‌ها و روان‌ها تمایل بیشتری به حضور در جایگاه پایانه نسبت به جایگاه آغاز دارند. بسامد واحد (بسامد در پیکره) ساختارهایی که از همخوان‌های نارسای انفجاری استفاده می‌کنند در مقایسه با ساختارهایی که از سایر همخوان‌ها استفاده می‌کنند به شدت کاهش می‌یابد. استفاده از بسامد نرمال (معیار اطلاعات مشترک نقطه‌ای) نشان می‌دهد که تمایل به هم‌خدادی در خوشه‌های با شیب رسایی افتان بیشتر از خوشه‌هایی با شیب رسایی خیزان نبوده و حضور گروه‌های مختلف رسایی در پایانه و آغاز در مرز هجا مستقل از یکدیگر صورت می‌گیرد. با توجه به تمایل همخوان‌های نارسا به حضور در جایگاه آغاز و تمایل همخوان‌های رسا به حضور در جایگاه پایانه و نقش مهم این تمایل در شکل‌گیری الگوهای مرز هجا، توصیف مبتنی بر آواشناسی ادراکی این پدیده واجشناختی (نظریه جواز ادراکی) قابل قبول‌تر از توصیف این پدیده با استفاده از محدودیت‌های واجشناختی باشد.

**کلیدواژه‌ها:** قانون اتصال هجا، رسایی، مرز هجای CVC، خوشه دوهمخوانی، رسایی افتان، رسایی خیزان

## ۱. مقدمه

رسایی از سرنخ‌های شناختی<sup>۱</sup> در تشخیص آواهای زبان است و از نظر تولیدی نشانگر باز بودن بیشتر دهان، از نظر شنیداری نشانگر شدت بیشتر صوت و از نظر صوت‌شناختی نشانگر دامنه بیشتر سیگنال صوتی است. رسایی

<sup>۱</sup> Cognitive Cues

هر آوا ناظر بر بلندی نسبی آن در مقایسه با بر دیگر آواهاست (لدفوگد و جانسون ۲۰۱۱: ۲۴۵). رسایی مقوله‌ای نسبی است به این معنی که میزان رسایی یک آوا نسبت به آوای دیگری سنجیده می‌شود و بر اساس آن آواهای هر زبان را به صورت سلسله‌مراتبی دسته‌بندی می‌کنند. نسبت رسایی آواها در زبان‌های مختلف اندکی متغیر است و می‌توان سلسله‌مراتب آواها را از نظر میزان رسایی در مورد همهٔ زبان‌ها با تغییراتی اندک جاری دانست. آواها را از نظر سلسله‌مراتب رسایی در جدول ۱ می‌بینیم (بورکوئست ۱۹۹۳):

بیشترین رسایی	[a]	واکه‌های باز افتاده
	[e o]	واکه‌های میانی
	[i u]	واکه‌های افراشته بسته
	[r]	زنجی‌ها
	[l]	کناری‌ها
	[m n]	خیشومی‌ها
	[z v ð]	سایشی‌های واکدار
	[s f θ]	سایشی‌های بی‌واک
	[b d g]	انفجاری‌های واکدار
کمترین رسایی	[p t k]	انفجاری‌های بی‌واک

جدول ۱ طبقات مختلف رسایی در واج‌های زبان

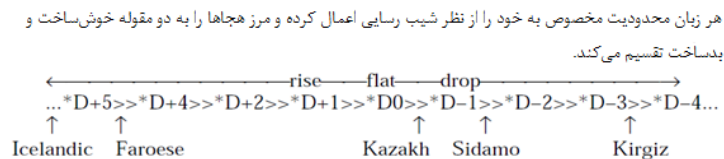
همانطور که در جدول ۱ دیده می‌شود واکه‌های باز بیشترین و همخوان‌های انفجاری بی‌واکدارای کمترین رسایی هستند (همان: ۲۴۶).

در منابع، رسایی و نقش‌های آن به صورت‌های مختلفی تعریف شده است. مهم‌ترین تفاوت در این تعاریف اعتقاد و یا عدم اعتقاد به نقش ممیز برای رسایی است. اگر رسایی یک مشخصه ممیز باشد و باعث تمایز واجی شود می‌بایست مانند سایر مشخصه‌های ممیز مانند واکداری، فرمانت‌ها، نحوه تولید و ... دارای مابه‌ازای تولیدی-آوایی باشد. در برخی از منابع (کلمنتس ۱۹۹۰) رسایی را مجموعه‌های از مشخصات آکوستیکی معرفی کرده‌اند. در برخی دیگر از منابع (هریس ۲۰۰۵) رسایی به عنوان سیگنال حامل و رسانندهٔ پیام زبانی شناخته شده و از خود پیام که دارای مشخصات واجی و ممیز است مجزا می‌گردد.

## ۲. قانون اتصال هجا<sup>۱</sup> و اصل رسایی

<sup>۱</sup> Syllable Contact Law

اصل رسایی و اصل بیشینگی آغازه به بررسی میزان رسایی دنباله واجها در درون ساخت هجایی می‌پردازند. بررسی میزان رسایی آواها در مرز اتصال هجاها نشان می‌دهد که در بسیاری از زبان‌ها تمایل به گذر از یک پایانه رسا تر در هجای اول به یک آغازه نارسا تر در هجای دوم بیشتر است. به عبارت دیگر میزان رسایی همخوان‌ها در مرز این قبیل هجاها افتان است. در وِنمان ۱۹۸۸ تمایل بسیار زیادی در زبان‌های مختلف در جهت پیروی از این قانون گزارش شده است. در مواردی که شیب رسایی خیزان وجود دارد تمایل زبان‌ها به واکه‌افزایی گزارش شده است. تبدیل 'thatway' به 'that-a-way' در زبان انگلیسی یک نمونه از واکه‌افزایی در جهت انطباق بیشتر با این قانون از طریق حذف بافت دوهمخوانی در موارد نقض آنمی‌باشد. بررسی فرایند واکه‌افزایی در ارتباط با اصول حاکم بر رسایی در مرز هجا در زبان فارسی مورد توجه محققین این حوزه است. در نظریه بهینگی این قانون به صورت یک یا چند محدودیت تعریف می‌شود. تفاوت رسایی میان‌پایانه و آغازدر توالی t.w بیشترین فاصله خیزان رسایی یعنی +7 و در توالی w.t بیشترین فاصله افتان رسایی یعنی -7 متغیر است. هر فاصله رسایی به عنوان یک محدودیت تعریف می‌شود (گوشکوا ۲۰۰۴). علامت \* به معنی نقیض یک محدودیت است. به عنوان مثال محدودیت +7\*Dist به این معنی است که میزان رسایی پیش‌هسته در هجای دوم ۷ سطح با میزان رسایی پس‌هسته در هجای اول فاصله دارد. این فاصله خیزان و به شدت نشاندار است به همین دلیل علامت \* در کنار آن قرار می‌گیرد تا عدم تمایل زبان به این فاصله را نشان داده و بر فقدان آن به عنوان یک محدودیت با اولویت بالا تاکید کند. به عنوان مثال محدودیت‌های +7\*Dist تا -7\*Dist تعریف می‌شود و به صورت زیر اولویت‌بندی می‌گردد:



شکل ۱- میزان تفاوت رسایی مجاز در زبان‌های مختلف (گوشکوا ۲۰۰۴). در این زبان‌ها میزان تفاوت رسایی در مرز هجا به صورت مقوله‌ای عمل کرده و ساختار را به دو مقوله بی‌نشان و نشان‌دار تقسیم می‌کند.

در شکل ۱ میزان اختلاف مجاز رسایی در چند زبان مشاهده می‌گردد. به عنوان مثال در زبان قزاقی الگوی رسایی خیزان مجاز نیست اما الگوی رسایی flat و یا همه حالت‌های افتان مجاز است. در زبان قرقیزی می‌بایست حتماً شیب افتان بودن رسایی از ۳- بیشتر باشد، در غیر این صورت ساختار نشاندار خواهد بود (همان).

## ۲. افرايندهای تغيير، حذف، واج‌افزایی و قلب در خوشه‌های همخوانی مرز هجای زبان فارسی

در بسياری از خوشه‌های همخوانی که از نقطه نظر اصل رسایی در مرز هجا کمتر خوش‌ساخت هستند (به عنوان مثال دارای شيب رسایی خيزان +۴ هستند)، تغييرات واجی مانند تغيير، حذف، واج‌افزایی و قلب رخ می‌دهد تا دنباله واجی خوش‌ساخت‌تر گردد. اين تغييرات به دو صورت هم‌زمانی و درزمانی در ساخت زبان تغييراتی ایجاد می‌کنند. تغيير هم‌زمانی در بين برخی طبقات اجتماعی (کشاورز ۲۰۰۰) رخ می‌دهد و برخی از اين تغييرات پس از فراگیر شدن، در طول زمان جایگزین ساخت نشاندارتر می‌گردند. تغييرات درزمانی در هجای زبان فارسی در (احمدخانی ۲۰۱۰) مطالعه شده است. جدول ۳ مثال‌هایی از اين تغييرات را در مرز هجای واژه‌هایی با ساختار CVC-CVC نشان می‌دهد. تفاوت میزان رسایی در مرز اين هجاها +۴ خيزان می‌باشد.

واژه فارسی معيار	واژه آوانویسی شده	فاصله رسایی در مرز هجا	واژه جديد	نوع تغيير	فاصله رسایی جديد
اعلام	? ʒ?.lam	+۴	? ʒ.lam	حذف	+۱
زودرس	zud.ræs	+۴	zur.ræs	تغيير	۰
کبريت	kʒb.rit	+۴	kʒr.bit	قلب	-۴
داديار	dad.yar	+۴	da.de.yar	واکه افزایی	+۱

جدول ۳- تغيير واجی در مرز هجا به منظور توليد صورت‌های بی‌نشان‌تر و خوش‌ساخت‌تر الگوی رسایی

اين تغييرات نشانگر دليل آواشناختی برای تغييرات واجی است. به اين معنی که بی‌نشانی توليدي/درکی انگیزه تغيير در نظام آوایی زبان می‌باشد. يافتن علت دقيق اين تغييرات نیاز به بررسی بیشتری دارد.

## ۳. داده‌ها و روش‌شناسی پژوهش حاضر

با استفاده از پیکره‌واژگان زبانی فارسی (اسلامی و همکاران ۱۳۸۳) که دارای بیش از ۵۴۰۰۰ واژه زبان فارسی است، ساختار هجایی مورد نظر با استفاده از زنجیره واجی موجود استخراج شد. با توجه به اینکه ساختار هجایی زبان فارسی فاقد خوشه همخوانی در آغازهاست و وجود یک همخوان در آغاز هجا الزامی می‌باشد، لذا هجاسازی به صورت قطعی و به شکلی ساده انجام می‌گیرد. هر هجا از اولین همخوان پیش از واکه آغاز می‌شود و تا قبل از اولین همخوان پیش از واکه بعدی در واژه ادامه می‌یابد. به عنوان مثال اگر زنجیره واجی فرضی /CVCCVCVCCVCV/ را در نظر بگیریم، با توجه به ساختار هجایی زبان فارسی، هجاسازی آن به صورت

قطعی /CVC.CV.CVC.CV.CV/ خواهد بود. واژه‌های با ساختار هجایی CVC.CVC استخراج شده و فاصلهٔ رسایی بین پس‌هسته هجای اول و پیش‌هسته هجای دوم محاسبه گردید. دلیل انتخاب ساختار CVC.CVC حذف اثر خوشه همخوانی در هجای CVCC بر الگوی تغییر رسایی بود، چرا که به عنوان مثال در CVC1C2.C3V ممکن است مشخصات واجی همخوان C1 بر الگوی تغییر رسایی خوشه همخوانی C2.C3 در مرز دو هجا تاثیرگذار باشد.

در محاسبهٔ رسایی، ساختار سلسله‌مراتبی رسایی آواها به صورت زیر در نظر گرفته شده‌اند و واج‌های زبان فارسی هر کدام در یکی از پنج گروه جدول ۴ قرار گرفته‌اند. از آنجا که واژه‌ها در گروه همخوانی حضور ندارند، روه‌های همخوانی را به ترتیب رسایی امتیازبندی می‌کنیم. در جدول ۴ امتیاز رسایی گروه‌ها مشاهده می‌شود. با توجه به اینکه ۵ سطح رسایی در بین همخوان‌ها تعریف کرده‌ایم، فاصلهٔ رسایی بین دو همخوان می‌تواند از +۴ تا -۴ متغیر باشد. فاصله +۴ به معنی فاصلهٔ رسایی خیزان بین دو همخوان در مرز هجاست که نشاندارترین حالت از نقطه نظر قانون اتصال هجامحسوب می‌شود. واژه‌ای که دارای این فاصلهٔ رسایی باشد الگوی قالب افتان بودن رسایی در مرز هجا را نقض کرده است. در زبان فارسی نمونه‌هایی از تمامی فاصله‌های رسایی به چشم می‌خورد.

ردیف	گروه همخوان	همخوان‌ها	مخفف	تعداد همخوان	درجهٔ رسایی
۱	روان‌ها	[y, r, l]	LI	۳	۵
۲	خیشومی‌ها	[m, n]	NA	۲	۴
۳	سایشی‌ها	[v, z, ʒ, f, s, ʃ, h, x]	FR	۸	۳
۴	انسایشی‌ها	[tʃ, dʒ]	AF	۲	۲
۵	انسدادی‌ها	[b, d, g, q, ʔ, p, t, k]	PL	۸	۱

جدول ۴- سلسله مراتب رسایی گروه‌های واجی زبان فارسی  
به همراه نشانهٔ اختصاری و درجهٔ رسایی آنها

واژه‌های دارای خوشهٔ دوهمخوانی در مرز هجا با ساختار CVC.CVC از واژگان زبان فارسی استخراج شده و میزان تفاوت رسایی آنها در مرز بین دو هجا اندازه‌گیری شد. در جدول ۵- حالت‌های مختلف هم‌خدادی طبقات رسایی مختلف در خوشه همخوانی در مرز هجا نشان داده شده است. به عنوان مثال واژه /dʒæmfid/ دارای خوشه همخوانی /m.ʃ/ در مرز هجا می‌باشد که با توجه به طبقه رسایی هر یک از همخوان‌ها، خوشه طبقاتی /NA.FR/ به وجود می‌آید. این خوشه طبقاتی دارای فاصلهٔ رسایی ۱- می‌باشد. فاصلهٔ رسایی از اختلاف رسایی طبقه FR و طبقه NA به دست می‌آید.

واژه	واژه آوانویسی شده	میزان تغییر رسایی	گروه همخوان دوم	گروه همخوان اول
------	-------------------------	-------------------------	-----------------------	-----------------------

LI	PL	-4	dɜldar	دلدار
LI	AF	-3	dirdʒuʃ	دیرجوش
NA	PL	-3	lomban	لمبان
LI	FR	-2	porsud	پرسود
NA	AF	-2	pæntʃær	پنچر
FR	PL	-2	pustin	پوستین
LI	NA	-1	murmur	مور مور
NA	FR	-1	dʒæmjɪd	جمشید
FR	AF	-1	tahtʃɪn	تهچین
AF	PL	-1	gæʃbor	گچبر
LI	LI	0	golriz	گلریز
AF	AF	0	sædʒdʒad	سجاد
FR	FR	0	? æʃʃɪn	افشین
NA	NA	0	bimnak	بیمناک
PL	PL	0	didgah	دیدگاه
FR	NA	1	gavmɪʃ	گاو میش
NA	LI	1	hæmrah	همراه
AF	FR	1	mædʒzur	مجذور
PL	AF	1	zuddʒuʃ	زودجوش
FR	LI	2	rɪʃrɪʃ	ریش ریش
AF	NA	2	? æʃmæz	آچمز
PL	FR	2	lotfæn	لطف
AF	LI	3	dʒadʒrud	جاجرود
PL	NA	3	niknam	نیکنام
PL	LI	4	tædrɪs	تدریس

جدول ۵- حالت‌های مختلف هم‌رخدادی طبقات رسایی در خوشهٔ همخوانی رمز هجای ساختار CVC.CVC

### ۱.۳ اطلاعات مشترک نقطه‌ای<sup>۱</sup>

---

<sup>۱</sup>PMI Pointwise Mutual Information :  $PMI(x, y) = \log_2 \frac{p(x, y)}{p(x) \cdot p(y)}$



همانطور که بیان شد برای بررسی شیب رسایی در مرز هجا از بسامد نرمال استفاده شده است. جهت محاسبه بسامد نرمال از اطلاعات مشترک نقطه‌ای استفاده کرده‌ایم. این معیار نشانگر میزان هم‌رخدادی دو رخداد فارغ از میزان رخداد هر یک به صورت جداگانه می‌باشد. اطلاعات مشترک نقطه‌ای دو رخداد  $x$  و  $y$  از دو متغیر تصادفی  $X$  و  $Y$  به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$PMI(x, y) = \log_2 \frac{p(x, y)}{p(x) * p(y)}$$

هر چه میزان اطلاعات مشترک نقطه‌ای دو متغیر بیشتر باشد به این معنی است که تمایل به رخداد همزمان دو متغیر بیشتر است. مقدار منفی این معیار نشانگر عدم تمایل به هم‌رخدادی دو متغیر و یا خاصیت دفعی آن‌هاست. همچنین مقدار صفر این معیار نشان می‌دهد که دو متغیر به صورت مستقل از یکدیگر رخ می‌دهند.

این معیار جهت بررسی میزان تمایل دسته‌های مختلف رسایی در مرز بین دو هجا به کار رفته است. در این بررسی متغیر تصادفی اول رخداد یک دسته رسایی در موقعیت همخوان آخر هجای اول و متغیر تصادفی دوم رخداد یک دسته رسایی در موقعیت همخوان اول هجای دوم در مرز بین دو هجا در نظر گرفته شده است. به عنوان مثال متغیر تصادفی رخداد واج  $/t/$  در موقعیت پس‌هسته هجای اول و متغیر تصادفی رخداد واج  $/l/$  در موقعیت پیش‌هسته هجای دوم را در نظر بگیرید. می‌خواهیم میزان تمایل به هم‌رخدادی این دو واج را در مرز هجا به دست آوریم. تمایل به هم‌رخدادی در صورتی بالاست که درصد بالایی از رخداد‌های این دو واج با هم انجام شده باشد. به این معنی که ممکن است هر کدام از این دو واج جداگانه در موقعیت پس‌هسته و پیش‌هسته به تعداد بالا حضور داشته باشند، اما رخداد همزمان این دو متغیر کم باشد. همچنین امکان دارد که این دو متغیر در موقعیت‌های گفته شده بسیار کم ظاهر شده باشند، اما در اکثر موارد هم‌رخداد بوده‌اند. معیار اطلاعات مشترک نقطه‌ای با حذف اثر میزان رخداد جداگانه هر یک از متغیرها، تنها نشانگر میزان تمایل به هم‌رخدادی را ارائه می‌دهد. در ادامه با یک مثال عددی این معیار بیشتر توضیح داده شده است. فرض کنیم که ۱۰۰۰ واژه با ساختار CVC.CVC در واژگان زبانی فارسی (اسلامی و همکاران ۱۳۸۳) که دارای بیش از ۵۴۰۰۰ واژه زبان فارسی است، وجود دارد. می‌خواهیم میزان تمایل به هم‌رخدادی واج  $/t/$  در موقعیت پس‌هسته هجای اول و واج  $/l/$  در پیش‌هسته هجای دوم را به دست آوریم. فرض کنیم که واج  $/t/$  به تعداد ۵۰ بار در موقعیت پس‌هسته هجای اول ظاهر شده است. همچنین واج  $/l/$  به تعداد ۲۵ بار در پیش‌هسته هجای دوم ظاهر شده است. بنابراین احتمال رخداد واج  $/t/$  در پس‌هسته هجای اول برابر ۰,۰۵ و احتمال رخداد واج  $/l/$  در پس‌هسته هجای دوم

برابر ۰,۰۲۵ خواهد بود. در صورتی که این دو واج در ۵ واژه به صورت هم‌رخداد در موقعیت /t.l/ رخ داده باشند، اطلاعات دوسویه مشترک آنها از طریق فرمول زیر به دست می‌آید.

$$PMI(t, l) = \log_2 \frac{p(t, l)}{p(t) * p(l)} = \log_2 \frac{\frac{5}{1000}}{\frac{50}{1000} * \frac{25}{1000}} = 2$$

در این فرمول  $p(t, l)$  برابر با ۰,۰۰۵،  $p(t)$  برابر با ۰,۰۵ و  $p(l)$  برابر با ۰,۰۲۵ می‌باشد. بنابراین مقدار اطلاعات مشترک نقطه‌ای برابر با ۲ می‌گردد. مثبت بودن این معیار نشانگر تمایل دو واج /t/ و /l/ به رخداد همزمان در موقعیت‌های ذکر شده در مرز هجا می‌باشد.

در صورتی که فرض کنیم واج /t/ به تعداد ۸۰۰ بار در موقعیت پس‌هسته هجای اول و واج /l/ به تعداد ۴۰۰ بار در موقعیت پیش‌هسته هجای دوم در ساختار هجایی CVC.CVC به کار رفته باشند و همچنین تعداد هم‌رخدادهای این متغیرها در مرز هجا برابر با ۲۰ باشد، میزان اطلاعات مشترک نقطه‌ای به طریق مشابه به دست خواهد آمد.

$$PMI(t, l) = \log_2 \frac{p(t, l)}{p(t) * p(l)} = \log_2 \frac{\frac{20}{1000}}{\frac{800}{1000} * \frac{400}{1000}} = -4$$

مقدار منفی اطلاعات مشترک نقطه‌ای نشان می‌دهد که علی‌رغم اینکه این دو واج در حالت دوم نسبت به حالت اول بیشتر در موقعیت‌های ذکر شده در مرز هجا رخ می‌دهند و حتی تعداد رخداد همزمان آنها بیشتر است اما از آنجا که بیشتر تمایل دارند با واج‌های دیگر هم‌رخداد گردند تا با همدیگر میزان اطلاعات مشترک نقطه‌ای آنها منفی شده است. از این معیار در مک‌گوان ۲۰۰۸ نیز جهت بررسی محدودیت رسایی در مرز هجا بهره گرفته شده است.

### ۳. استخراج بسامدها و محاسبه اطلاعات مشترک نقطه‌ای

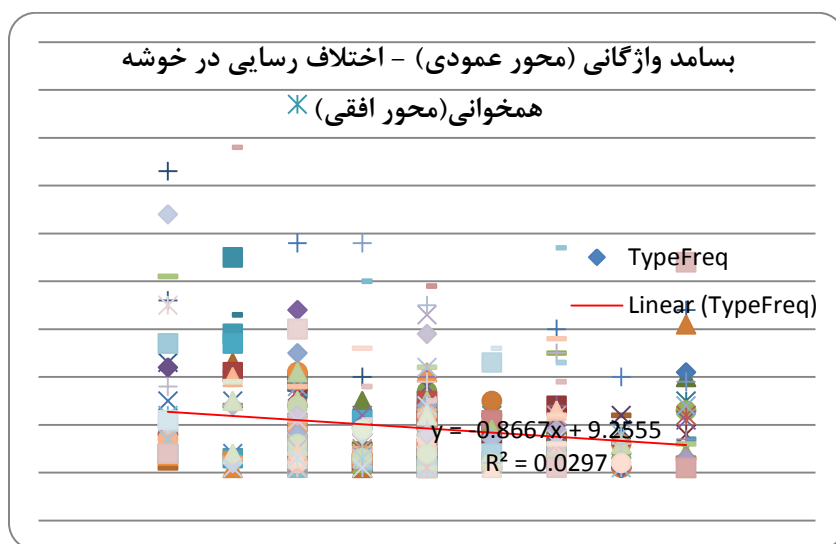
به ازای هر خوشه دوهمخوانی در مرز هجا مانند C1.C2 اختلاف رسایی با توجه به طبقه رسایی به دست آمده و تعداد رخداد آن خوشه هم در واژگان (بسامد نوع<sup>۱</sup>) و هم با استفاده از بسامد رخداد هر واژه در

<sup>۱</sup> Type Frequency

پیکره (بسامد واحد<sup>۱</sup>) محاسبه شده است. دلیل محاسبه بسامد نوع و نیز بسامد واحد این است که ممکن است یک محدودیت در سطح واژگانی اعمال نشود اما در بسامد پیکره خود را نشان دهد. به عنوان مثال ممکن است در واژگان، واژه‌ها بدون توجه به محدودیت‌های نشان‌داری مد نظر باشند، اما در عمل، کلمات بی‌نشان‌تر بیشتر استفاده شده و بنابراین بسامد واحد بالا اما بسامد نوع پایین داشته باشند.

#### ۴. نتایج

در نمودار ۱ بسامد نوع به ازای اختلاف رسایی دو همخوان در خوشه<sup>۲</sup> دوهمخوانی مشاهده می‌شود. این خوشه‌ها در مرز دو هجا در ساختار هجایی CVC.CVC قرار گرفته‌اند. خط قرمز که نشانگر تمایل کلی تغییرات می‌باشد با استفاده از درون‌یابی<sup>۲</sup> به دست آمده است. همانطور که دیده می‌شود، بسامد خوشه‌های دوهمخوانی مرز هجا با افتان شدن شیب رسایی دو همخوان و حرکت از شیب رسایی +۴ به شیب رسایی -۴ افزایش می‌یابد. آهنگ افزایش بسامد یکنواخت می‌باشد.

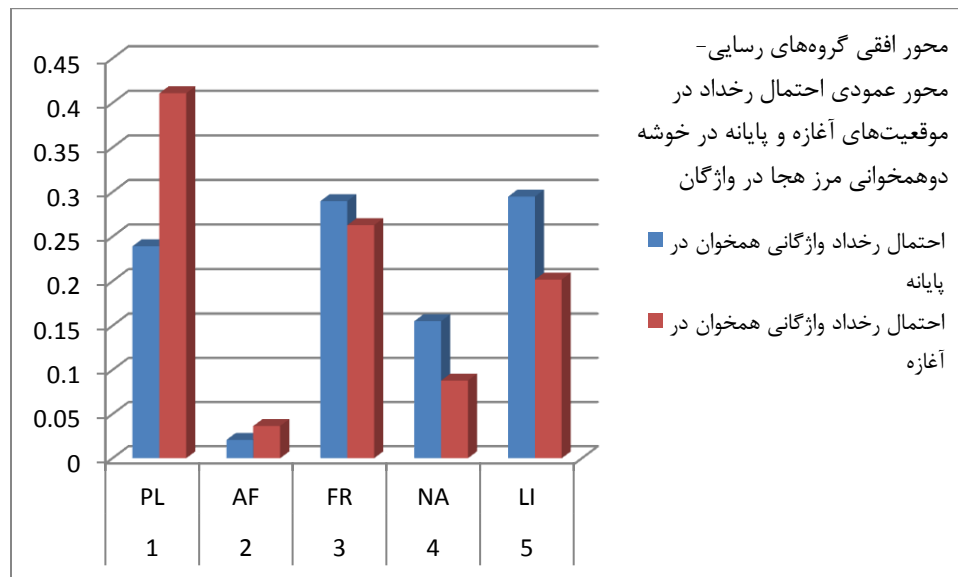


نمودار ۱- بسامد نوع به ازای اختلاف رسایی دو همخوان در همخوان‌های C1 و C2 در مرز هجا

<sup>1</sup> Token Frequency

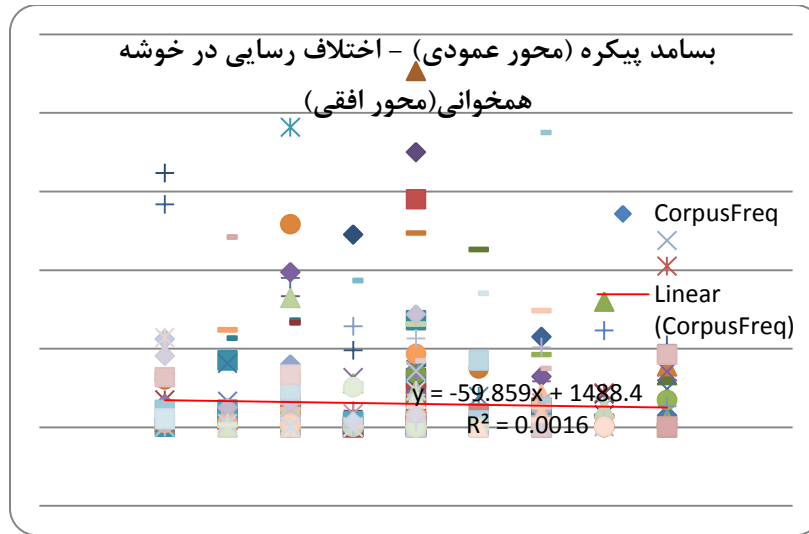
<sup>2</sup> Interpolation

در نمودار ۲ احتمال رخداد هر یک از گروه‌های رسایی در جایگاه آغاز و پایانه با استفاده از بسامد نوع محاسبه شده و برای هر گروه مقایسه شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌شود احتمال رخداد گروه‌های انفجاری و انسایشی در جایگاه آغاز بیشتر از احتمال رخداد آن‌ها در محیط پایانه است. همچنین گروه‌های رسایی سایشی‌ها، خیشومی‌ها و روان‌ها احتمال رخداد بالاتری را در محیط پایانه دارند. این موضوع علت بسامد بالاتر خوشه‌های دوهمخوانی دارای شیب افتان در مرز هجا که در نمودار ۱ آمده است را روشن می‌کند. گروه‌های با رسایی بالاتر تمایل به حضور در بافت پایانه و گروه‌های با رسایی پایین‌تر تمایل به حضور در بافت آغازین را دارند و بنابراین ساختارهایی با شیب رسایی افتان احتمال رخداد بالاتری را خواهند داشت.



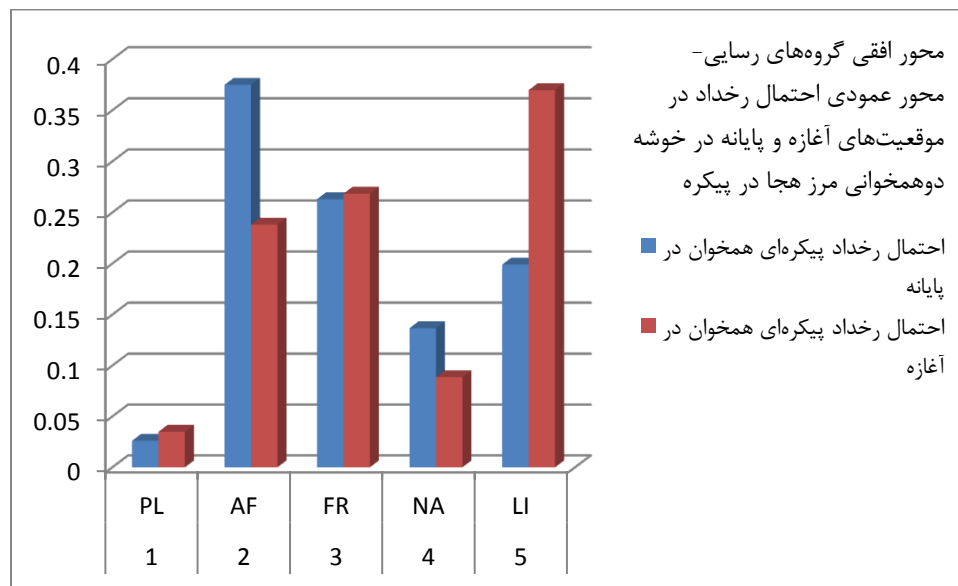
نمودار ۲ - مقایسه احتمال رخداد گروه‌های مختلف رسایی در جایگاه‌های پایانه و آغاز در خوشه دوهمخوانی مرز هجا در ساختارهای CVCCVC با استفاده از بسامد نوع

در نمودار ۳- بسامد پیکره‌ای به ازای اختلاف رسایی دو همخوان در خوشه دوهمخوانی مرز هجا نشان داده شده است. همانند بسامد نوع در نمودار ۱ در نمودار ۳ نیز با کاهش شیب رسایی از ۴+ به ۴- بسامد واحد افزایش می‌یابد اما این افزایش بسیار ملایم و اندک است. در واقع هرچه خوشه دوهمخوانی بی‌نشاندتر باشد بسامد بیشتری دارد اما بیشتر شدن بسامد شیب بسیار ملایم‌تری نسبت به نمودار بسامد نوع دارد.



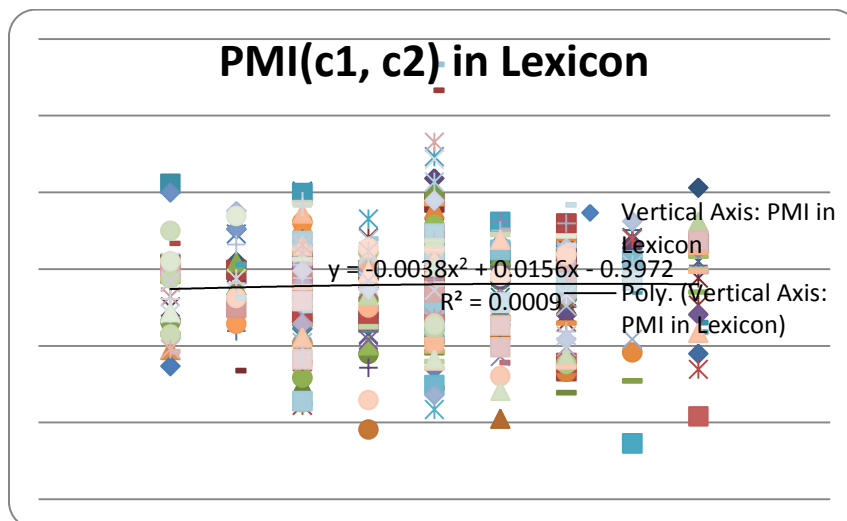
نمودار ۳ - بسامد واحد به ازای اختلاف رسایی دو همخوان در همخوان‌های C1 و C2 در مرز هجا

در نمودار ۴ احتمه واژه‌هایی با ساختار CVCCVC با استفاده از بسامد خوشه دوهمخوانی در پیکره محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده است. تفاوت این نمودار با نمودار ۲ در این است که در آنجا از بسامد نوع برای محاسبه احتمالات استفاده شده بود اما در اینجا از بسامد واحد استفاده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود احتمال رخداد در پیکره ساختارهایی که دارای همخوان‌های انفجاری هستند نسبت به احتمال رخداد آن‌ها در واژگان کاهش یافته است. این موضوع باعث هموارتر شدن شیب نمودار ۳ شده است چرا که گروه رسایی انفجاری‌ها دارای احتمال رخداد کمتری شده و بنابراین حالات میانی احتمال رخداد بیشتری را یافته‌اند. همچنین افزایش احتمال رخداد همخوان‌های انسایشی در پیکره قابل توجه می‌باشد.



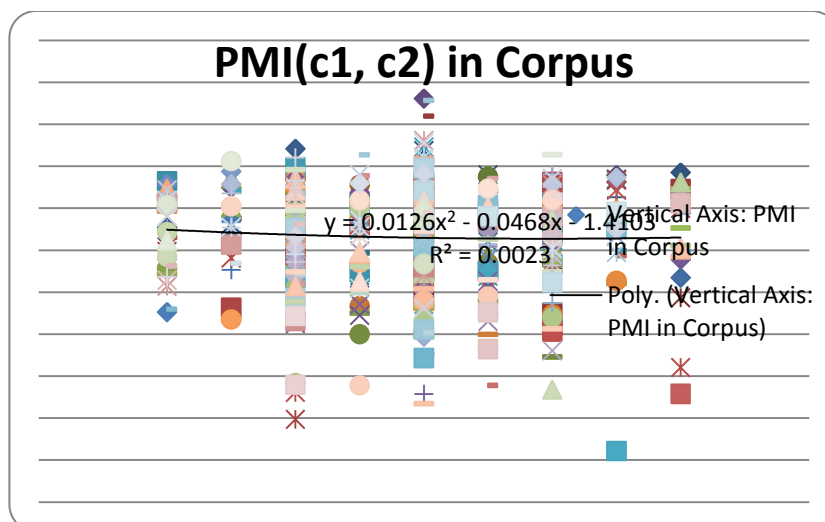
نمودار ۴ - مقایسه احتمال رخداد گروه‌های مختلف رسایی در جایگاه‌های پایانه و آغاز در خوشه دوهمخوانی مرز هجا در ساختارهای CVCCVC با استفاده از بسامد واحد

در نمودار ۵ معیار اطلاعات مشترک نقطه‌ای با استفاده از بسامد نوع مشاهده می‌گردد. این معیار تقریباً در همه جا نزدیک به صفر است. همانطور که پیش‌تر گفته شد مقدار صفر برای معیار اطلاعات مشترک نقطه‌ای بین دو متغیر نشانگر استقلال رخداد دو متغیر نسبت به یکدیگر می‌باشد، و به این معنی است که ارتباط مستقیمی بین بسامد رخداد واژگانی و شیب رسایی وجود ندارد. این می‌رساند که بسامد واحد مشاهده شده ساختارها با بسامد واحد مورد انتظار آن‌ها تقریباً برابر بوده و بیشتر بودن بسامد واحد ساختارهایی با شیب افتان به این دلیل است که گروه‌های رسائر تمایل بیشتر به حضور در جایگاه پایانه و گروه‌هایی با رسایی کمتر تمایل بیشتر به حضور در جایگاه آغاز دارند.



نمودار ۵- اطلاعات مشترک نقطه‌ای بین دو متغیر میزان اختلاف رسایی بین همخوان اول و دوم در خوشه دوهمخوانی مرز هجا و بسامد واژگانی

در نمودار ۶ معیار اطلاعات مشترک نقطه‌ای برای دو متغیر بسامد نوع و میزان اختلاف رسایی بین دو همخوان در خوشه دوهمخوانی در مرز هجا در ساختار CVCCVC مشاهده می‌گردد. از آنجا که اطلاعات مشترک نقطه‌ای تقریباً در همه جا نزدیک به صفر است می‌توان نتیجه گرفت که رابطه‌ای بین افتان یا خیزان بودن الگوی تغییر رسایی در مرز هجا در ساختار CVCCVC و بسامد نوع آن وجود ندارد.



نمودار ۶ - اطلاعات مشترک نقطه‌ای بین دو متغیر میزان اختلاف رسایی بین همخوان اول و دوم در خوشه دوهمخوانی بین دو هجا در ساختار CVC.CVC و بسامد نوع

## ۵. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌های آماری انجام شده نشان می‌دهد که بسامد نوع خوشه‌های دوهمخوانی مرز هجا با کاهش شیب رسایی افزایش می‌یابد (نمودار ۱) و این افزایش ناشی از تمایل بیشتر گروه‌های با رسایی کمتر مانند انفجاری‌ها و انسایشی‌ها به حضور در موقعیت آغاز و تمایل بیشتر گروه‌های با رسایی بیشتر مانند سایشی‌ها، خیشومی‌ها و روان‌ها به حضور در موقعیت پایانه هجا می‌باشد (نمودار ۲). همچنین مشخص شد که بسامد واحد همخوان‌های انفجاری هم در جایگاه آغاز و هم در جایگاه پایانه هجا کاهش چشمگیری را دارد (نمودار ۴). این کاهش نشانگر این است که واژه‌هایی که از ساختارهای واجی CVCCVC استفاده می‌کنند و در خوشه دوهمخوانی مرز هجایشان همخوان‌های انفجاری را جای داده‌اند دارای بسامد واحد کمتری هستند (در پیکره این واژه‌ها کمتر رخ می‌دهند) با اینکه بسامد نوع این ساختارها (بسامد در واژگان) به خصوص در جایگاه آغاز بیشتر از سایر گروه‌های همخوانی است. این کاهش حضور همخوان‌های انفجاری باعث کاهش حالت‌های حدی شیب رسایی (+۴ و -۴) شده و شیب نمودار ۳ را بسیار ملایم کرده است.

همچنین استفاده از معیار اطلاعات مشترک نقطه‌ای نشانگر استقلال متغیرهای بسامد و شیب رسایی خوشه دوهمخوانی در مرز هجا می‌باشد (نمودار ۵ و ۶). استقلال این دو متغیر به این معنی است که شیب رسایی در مرز هجای زبان فارسی به خودی خود واقعیتی واجشناختی محسوب نمی‌شود و یا اولویت بسیار پایینی را در زبان فارسی داراست. در واقع میزان بسامد مشاهده شده خوشه‌های دوهمخوانی با شیب رسایی مختلف کاملاً

منطبق با میزان بسامد قابل انتظار رخداد این خوشه‌هاست. اگر در بسامد نوع خوشه‌های دوهمخوانی با شیب رسایی افتان بیشتر از خوشه‌های دوهمخوانی با شیب رسایی خیزان است دلیل آن وجود قانون اتصال هجا به عنوان یک واقعیت واجشناختی نمی‌باشد که اگر چنین بود می‌بایست همبستگی بین این واقعیت واجشناختی و بسامد نوع و واحد در نمودارهای ۵ و ۶ مشاهده می‌شد. بیشتر بودن بسامد نوع خوشه‌های دوهمخوانی مرز هجای زبان فارسی ناشی از تمایل بیشتر همخوان‌های انفجاری و انسایشی با رسایی کمتر در جایگاه آغاز و تمایل بیشتر همخوان‌های سایشی، خیشومی و روان به حضور در جایگاه پایانه است.

کاهش تمایل همخوان‌های انفجاری در پایانه و افزایش تمایل حضور آن‌ها در آغاز تایید کننده این موضوع است که کلیدهای درکی محل تولید همخوان‌های انفجاری پیش از واکه‌ها مقاومت بیشتری نسبت به نوفه (که همواره در محیط موجود است) دارند و این مقاومت در بافت پیش‌همخوانی مانند حضور در پایانه در خوشه‌های دوهمخوانی مرز هجا کاهش می‌یابد (رایت ۲۰۰۴). همچنین بر اساس نظریه جواز ادراکی (استریادی ۱۹۹۷) با توجه به اینکه ویژگی محل تولید دارای کلیدهای درکی قوی در جایگاه پایانه نیست تمایل همخوان‌های انفجاری به بروز مقادیر مختلف این ویژگی کاهش یافته و بنابراین بسامد نوع همخوان‌های انفجاری در این جایگاه کاهش می‌یابد. بررسی‌های بیشتر کلیدهای درکی همخوان‌های انفجاری به وسیله انجام آزمون وضوح گفتار این همخوان‌ها در جایگاه پیش‌همخوانی و مقایسه آن با جایگاه پیش‌واکه‌ای در زبان فارسی می‌تواند شواهد بیشتری را از این موضوع به دست دهد.

محدودیت‌های نشان‌داری باعث می‌شود تا گونه‌های نشان‌دارتر به مرور زمان بی‌نشان‌تر شده و به مرور بسامد گونه‌های بی‌نشان در واژگان بالاتر رود. هم چنین انتظار می‌رود واژه‌های بی‌نشان‌تر بیشتر به کار رفته و بسامد پیکره‌ای بالاتری داشته باشند. بنابراین اگر محدودیتی در سطح زبان اعمال گردد انتظار می‌رود بسامد ساختارهایی که آن محدودیت را نقض نکرده‌اند به مرور بیشتر شود. با توجه به اینکه نتایج به دست آمده نشانگر فقدان رابطه بین الگوی تغییر رسایی در خوشه‌های همخوانی در مرز هجا و بسامد می‌باشد می‌توان نتیجه گرفت که محدودیت افتان بودن الگوی رسایی در مرز هجا در زبان فارسی عمل نمی‌کند یا دارای اولویت پایینی می‌باشد.

تغییرات زبانی در جهت کاهش نشان‌داری ساختارهای زبان حرکت می‌کنند. با توجه به نمونه‌های ذکر شده از تغییرات زبانی در جهت کاهش نشان‌داری شیب رسایی در مرز هجا، می‌توان نتیجه گرفت که با وجود تاثیر اندک قانون اتصال هجا بر بسامد خوشه‌های دوهمخوانی، این اصل در ساختارهای بسیار نشاندار با شیب افزایشی شدید اثر کرده و گونه‌های بی‌نشان‌تری را تولید می‌کند. در واقع می‌توان چنین گفت که محدودیت شیب رسایی خیزان شدید +۴ برخلاف سایر محدودیت‌های مرتبط با اصل اتصال هجا در برخی از بافت‌های زبانی عمل می‌کند. همچنین بررسی جامعه‌شناختی این تغییرات زبانی و توجه به محل استفاده از آن‌ها (مثلاً مکان‌های دارای نوفه) می‌تواند موضوع بررسی بیشتر باشد. وجود نوفه دایمی در محیط‌های کاری می‌تواند یک عامل



محرکه برای تولید گونه‌های بی‌نشان‌تر که از نظر شنیداری مقاوم‌تر نسبت به نوفه هستند باشد. بررسی این گمان پژوهش جداگانه‌ای را می‌طلبد.

با توجه به اینکه در برخی از زبان‌ها مانند زبان‌های قرقیزی و قزاقی که گونه‌هایی از خانواده زبان‌های ترکی هستند، محدودیت رسایی در مرز هجا اعمال می‌شود می‌بایست عدم اعمال این محدودیت در زبان فارسی دلیلی داشته باشد. در زبان فارسی نه تنها این محدودیت به صورت مقوله‌ای، ساختارها را به بی‌نشان و نشاندار تقسیم نمی‌کند، بلکه این محدودیت، برخلاف زبان انگلیسی بی‌نشانی طیفی ساختارها را نیز ایجاد نمی‌کند. یکی از دلایل این امر می‌تواند قطعی بودن تشخیص مرز هجا در زبان فارسی دانست. در صورتی که در زبانی اجازه و پایانه هر دو بتوانند دارای خوشه همخوانی باشند، لازم می‌شود در آرایش ویژه همخوان‌ها در مرز هجا محدودیتی ایجاد گردد تا تشخیص مرز هجا توسط شنونده میسر گردد. به عنوان مثال زنجیره CVCCV را در نظر بگیرید، این ساختار را می‌توان به صورت‌های مختلفی تقطیع هجایی کرد؛ مثلاً: (CV,CCV),(CVC,CV),(CVCC,V). با توجه به اینکه زبان فارسی اجازه وجود یک هجای تک‌واکه‌ای و خوشه همخوانی در آغازها نمی‌دهد، نیاز به محدودیتی برای مشخص کردن مرز هجا ندارد و برای زنجیره فوق تنها ساخت هجایی مجاز CVC,CV خواهد بود. در زبان‌هایی مانند انگلیسی که ساختار هجایی پیچیده‌تری دارند و تشخیص مرز هجا گاه توسط گویشوران زبان نیز محل تردید است، نیاز به محدودیت‌هایی پیدا می‌شود تا حالات تقطیع هجایی را کمینه کرده و تشخیص مرز هجا و به دنبال آن زنجیره را آسان‌تر نمایند. هر چه حالات ممکن تقطیع در زبانی بیشتر باشد، به محدودیت‌های قوی‌تری برای تشخیص مرز هجا نیازمندیم. بنابراین زبان فارسی شاید به دلیل قطعی بودن مرز هجاها نیازی به اعمال محدودیت رسایی در مرز هجا ندارد. اگر در چارچوب نظریه بهینگی محدودیت‌ها را جهانی فرض کنیم، می‌بایست اولویت این محدودیت را برای زبان فارسی بسیار کم و نزدیک به صفر در نظر بگیریم و یا محدودیت را به صورت پارامتریک در نظر بگیریم تا در مورد زبان‌هایی با پارامتر مرز هجای قطعی اولویت بسیار پایینی به آن اختصاص داده شود.

در صورتی که اعمال محدودیت در مرز هجا در چند زبان با مرز هجای قطعی (مانند فارسی و فرانسوی) و چند زبان با مرز هجای غیر قطعی (مانند انگلیسی و قزاقی) به روش‌های آماری اشاره شده در این مقاله انجام گردد، می‌توان نتایج این مقاله در مطالعات رده‌شناختی نظام آوایی زبان فارسی استفاده کرد.

## ۶. مراجع

اسلامی، محرم، مسعود شریفی آتشگاه، صدیقه علیزاده لمجیری و طاهره زندی. ۱۳۸۳. واژگان زایای زبان فارسی، مجموعه مقالات اولین کارگاه پژوهشی زبان فارسی و رایانه، دانشگاه تهران، ایران.

- Ahmadkhani, M. (2010). Phonological Metathesis in Persian: Synchronic, Diachronic, and the Optimality Theory. *PAZHUHESH-E ZABANHA-YE KHAREJI*, 5-24.
- Burquest, D. A. (1993). Phonological analysis: A functional approach. In *LinguaLinks library 5.0 plus*. x, 314 pages. [Dallas]: SIL International DigitalResources.
- Clements, G. N. (1990). The role of the sonority cycle in core syllabification. In *Papers in laboratory phonology I: Between the grammar and the physics of speech*. New York: Cambridge University Press. 283-333.
- Gouskova, M. (2004). Relational hierarchies in Optimality Theory: the case of syllable contact. *Phonology* 21: pages 201-250. Cambridge Univ Press.
- Harris, J. (2005). The phonology of being understood: Further arguments against sonority. *Lingua*, 55(10).
- Keshavarz, M. (2000). A Sociolinguistic analysis of methathsis in Persian, *JOURNAL OF HUMANITIES*, Winter-Spring 2000; 7(1-2):16-22.
- Ladefoged, Peter and Keith Johnson. 2011. *A Course in Phonetics*. 6<sup>th</sup> edition. Wadsworth, Cengage Learning.
- McGowan, K. (2008). Gradient Lexical Reflexes of Syllable Contact Law. <http://kmcgowan.rice.edu/publications/mcgowan-cls45.pdf>
- Vennemann, T. (1988). *Preference laws for syllable structure and the explanation of soundchange: With special reference to German, Germanic, Italian, and Latin*. Berlin: Mouton de Gruyter.
- Selkrik, Elizabeth (1984). On the Major Class features and Syllable Theory, in M. Aronoff and R.T. Oherle, (Eds), *Language Sound Structure: Studies in Phonology Dedicated to Morris Halle by his students*, MIT Press, Cambridge, Mass.
- Wright, R. A. (2004b). A review of perceptual cues and cue robustness. In B. Hayes, R. Kirchner, & D. Steriade (Eds.), *Phonetically based phonology* (pp. 34-57). Cambridge; New York: Cambridge University Press.

Steriade, D. (1997). Phonetics in phonology: the case of laryngeal neutralization.  
UCLA ms.