

## توزیع رسایی در خوشه دوهمخوانی مرز هجا در زبان فارسی

افشین رحیمی<sup>۱</sup>

محرم اسلامی<sup>۲</sup>

بهرام وزیرنژاد<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۱/۷/۱۱

تاریخ تصویب: ۹۲/۸/۲۶

### چکیده

در این مقاله، توزیع رسایی در خوشه‌های دوهمخوانی مرز 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 زایای زبان فارسی که دارای ساختار هجایی CVC.CVC بودند، مطالعه شده‌اند. همخوان‌های زبان فارسی از نظر رسایی به ۵ طبقه مختلف

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری دانشگاه علوم کامپیوتر، دانشگاه ملبورن؛ arahimi@student.unimelb.edu.au

<sup>۲</sup> دانشیار گروه زبان و ادبیات فارسی، دانشگاه زنجان (نویسنده مسئول)؛ meslami@znu.ac.ir

<sup>۳</sup> آزمایشگاه پردازش گفتار و زبان، مرکز زبان‌ها و زبان‌شناسی، دانشگاه صنعتی شریف؛ bahram@sharif.edu

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 طبقهٔ خوش ساخت و غیرخوش ساخت 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 هم‌رخدادی 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 پدیدهٔ واج‌شناختی (نظریهٔ جواز ادراکی) قابل قبول‌تر از توصیف این پدیده با استفاده از محدودیت‌های واج‌شناختی می‌باشد.

### واژه‌های کلیدی: قانون اتصال هجا، رسایی، مرز هجای CVC، خوشهٔ

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 هر آوا ناظر بر بلندی نسبی آن در مقایسه با دیگر آواهاست (لدفوگد<sup>۲</sup> و جانسون<sup>۳</sup>، ۲۰۱۱: ۲۴۵). رسایی مقوله‌ای نسبی است به این معنی که میزان رسایی یک آوا نسبت به آوای دیگر 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 همه زبان‌ها با تغییراتی اندک جاری دانست. در جدول ۱، آواها از نظر سلسله‌مراتب رسایی نشان داده شده‌اند (بورکوئست<sup>۴</sup> و پاین<sup>۵</sup>، ۱۹۹۳). همان‌طور که در جدول ۱ دیده می‌شود، واکه‌های باز بیشترین و همخوان‌های انفجاری بی‌واک دارای 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، باید مانند سایر مشخصه‌های ممیز مانند واکه‌داری، فرمانت‌ها، نحوه تولید و ... دارای مابه‌ازای تولیدی-آوایی باشد. در برخی از منابع (کلمنتس<sup>۶</sup>، ۱۹۹۰) رسایی را مجموعه‌ای از مشخصات آکوستیکی معرفی کرده‌اند. در برخی دیگر از منابع (هریس<sup>۷</sup>، ۲۰۰۵) رسایی به عنوان سیگنال حامل و رساننده پیام زبانی شناخته شده و از خود پیام که دارای مشخصات واجی و ممیز است، مجزا می‌گردد.

---

<sup>1</sup> cognitive cues

<sup>2</sup> Ladefoged

<sup>3</sup> Johnson

<sup>4</sup> Burquest

<sup>5</sup> Payne

<sup>6</sup> Clements

<sup>7</sup> Harris

### جدول ۱. طبقات مختلف رسایی در واج‌های زبان

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]

همان‌طور که در جدول ۱ دیده می‌شود، واکه‌های باز بیشترین و همخوان‌های انفجاری بی‌واک دارای 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، باید مانند سایر مشخصه‌های ممیز مانند واک‌داری، فرمانت‌ها، نحوهٔ تولید و ... دارای مابه‌ازای تولیدی-آوایی باشد. در برخی از منابع (کلمنتس، ۱۹۹۰) رسایی را مجموعه‌ای از مشخصات آکوستیکی معرفی کرده‌اند. در برخی دیگر از منابع (هریس، ۲۰۰۵) رسایی به‌عنوان سیگنال حامل و رسانندهٔ پیام زبانی شناخته شده و از خود پیام که دارای مشخصات واجی و ممیز است، مجزا می‌گردد.

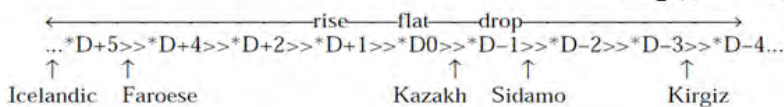
### ۲. قانون اتصال هجا<sup>۱</sup> و اصل رسایی

اصل رسایی و اصل بیشینگی آغازه به بررسی میزان رسایی دنبالهٔ واج‌ها در درون ساخت هجایی می‌پردازند. بررسی میزان رسایی آواها در مرز اتصال هجاها نشان می‌دهد که در

<sup>۱</sup> Syllable Contact Law

بسیاری از زبان‌ها تمایل به گذر از یک پایانه رساتر 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 ونمان (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 آن می‌باشد. 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 میان پایانه و آغازه در 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 Dist+7\* 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 تأکید کند. به عنوان مثال محدودیت‌های Dist+7\* تا Dist-7\* تعریف می‌شوند و به صورت زیر اولویت‌بندی می‌گردند:

هر زبان محدودیت مخصوص به خود را از نظر شیب رسایی اعمال کرده و مرز هجاها را به دو مقوله خوش‌ساخت و بدساخت تقسیم می‌کند.



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 مُجاز رسایی در چند زبان مشاهده می‌گردد. به‌عنوان مثال در زبان قزاقی الگوی رسایی خیزان مجاز نیست اما الگوی رسایی flat و یا همهٔ حالت‌های افتان مجاز است. در زبان قرقیزی، شیب افتان بودن رسایی باید حتماً از ۳- بیشتر باشد، در غیر این صورت ساختار نشان‌دار خواهد بود (گوشکوا، ۲۰۰۴).

## ۲.۱. فرایندهای تغییر، حذف، واج‌افزایی و قلب در خوشه‌های همخوانی مرز هجای زبان فارسی

در بسیاری از خوشه‌های همخوانی که از نقطه‌نظر اصل رسایی در مرز هجا کمتر خوش ساخت هستند (به‌عنوان مثال دارای شیب رسایی خیزان +۴ هستند)، تغییرات واجی مانند تغییر، حذف، واج‌افزایی و قلب رخ می‌دهد تا دنبالهٔ واجی خوش ساخت تر گردد. این تغییرات به دو صورت هم‌زمانی و در زمانی در ساخت زبان تغییراتی ایجاد می‌کنند. تغییر هم‌زمانی در بین برخی طبقات اجتماعی (کشاورز، ۲۰۰۰) رخ می‌دهد و برخی از این تغییرات پس از فراگیر شدن، در طول زمان جایگزین ساخت نشان‌دارتر می‌گردند. تغییرات در زمانی در هجای زبان فارسی توسط احمدخانی (۲۰۱۰) مطالعه شده است. جدول ۲ مثال‌هایی از این تغییرات را در مرز هجای واژه‌هایی با ساختار CVC-CVC نشان می‌دهد. تفاوت میزان رسایی در مرز این هجاها +۴ خیزان می‌باشد.

جدول ۲. تغییر واجی در مرز هجا به‌منظور تولید صورت‌های بی‌نشان‌تر و خوش ساخت‌تر الگوی رسایی

فاصلهٔ رسایی جدید	نوع تغییر	واژهٔ جدید	فاصلهٔ رسایی در مرز هجا	واژهٔ آوانویسی شده	واژهٔ فارسی معیار
+۱	حذف	ʔ 3.lam	+۴	ʔ 3?.lam	اعلام
۰	تغییر	zur.ræs	+۴	zud.ræs	زودرس
-۴	قلب	k3r.bit	+۴	k3b.rit	کبریت
+۱	واکه‌افزایی	da.de.yar	+۴	dad.yar	دادیار

این تغییرات نشانگر وجود دلیل آواشناختی برای تغییرات واجی است به این معنی که بی‌نشانی تولیدی/درکی انگیزه تغییر در نظام آوایی زبان می‌باشد. یافتن علت دقیق این تغییرات نیاز به بررسی بیشتری دارد.

### ۳. داده‌ها و روش‌شناسی پژوهش حاضر

با استفاده از پیکره واژگان 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 این که ساختار هجایی زبان فارسی فاقد خوشه همخوانی در آغاز است 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 دارای ساختار هجایی CVC.CVC استخراج شد و فاصله 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 تاثیر گذار باشد.

در محاسبه رسایی، ساختار سلسله‌مراتبی رسایی آواها به صورت جدول ۳ در نظر گرفته شده‌اند و واج‌های زبان فارسی هر کدام در یکی از پنج گروه جدول ۴ قرار گرفتند. از آنجا که واکه‌ها در گروه همخوانی حضور ندارند، گروه‌های همخوانی را به ترتیب رسایی امتیازبندی می‌کنیم. در جدول ۴ امتیاز رسایی گروه‌ها مشاهده می‌شود. با توجه به این که ۵ سطح رسایی در بین همخوان‌ها تعریف کردیم، فاصله رسایی بین دو همخوان می‌تواند از +۴ تا -۴ متغیر باشد. فاصله +۴ به معنی فاصله رسایی خیزان بین دو همخوان در مرز هجاست که نشان‌دارترین حالت از نقطه نظر قانون اتصال هجا محسوب 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.

**جدول ۳. سلسله‌مراتب رسایی گروه‌های واجی زبان فارسی  
به‌همراه نشانهٔ اختصاری و درجهٔ رسایی آنها**

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

واژه‌های دارای خوشهٔ دوهمخوانی در مرز هجا با ساختار CVC.CVC از واژگان زبان فارسی استخراج شد و میزان تفاوت رسایی آنها در مرز بین دو هجا اندازه‌گیری شد. در جدول ۴ حالت‌های مختلف هم‌رخدادی طبقات رسایی مختلف در خوشهٔ همخوانی در مرز هجا نشان داده شده است. به‌عنوان مثال واژهٔ /dʒæmjɪd/ دارای خوشهٔ همخوانی /m.ʃ/ در مرز هجا می‌باشد که با توجه به طبقهٔ رسایی هر یک از همخوان‌ها، خوشهٔ طبقاتی /NA.FR/ به وجود می‌آید. این خوشهٔ طبقاتی دارای فاصلهٔ رسایی ۱- می‌باشد. فاصلهٔ رسایی از اختلاف رسایی طبقهٔ FR و طبقهٔ NA به دست می‌آید.



جدول ۴. حالت‌های مختلف هم‌رخدادی طبقات رسایی  
در خوشه همخوانی مرز هجای ساختار CVC.CVC

وزنه	میزان تغییر رسایی	گروه همخوان دوم	گروه همخوان اول	وزنه	میزان تغییر رسایی	گروه همخوان دوم	گروه همخوان اول
deldâr	-4	PL	LI	bimnâk	0	NA	NA
dirjuš	-3	AF	LI	didgâh	0	PL	PL
lombân	-3	PL	NA	gâvmiš	1	NA	FR
porsud	-2	FR	LI	hamrâh	1	LI	NA
pančar	-2	AF	NA	majzur	1	FR	AF
pustin	-2	PL	FR	zudjuš	1	AF	PL
murmur	-1	NA	LI	rišriš	2	LI	FR
jamšid	-1	FR	NA	âčmaz	2	NA	AF
tahčîn	-1	AF	FR	lotfan	2	FR	PL
gačbor	-1	PL	AF	jâjrud	3	LI	AF
golriz	0	LI	LI	niknâm	3	NA	PL
sajjâd	0	AF	AF	tadris	4	LI	PL
?afšin	0	FR	FR				

۳.۱. اطلاعات مشترک نقطه‌ای<sup>۱</sup>

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.

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

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

هر چه میزان اطلاعات مشترک نقطه‌ای دو متغیر بیشتر باشد، 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. به‌عنوان 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 بگیرد. 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 گفته‌شده بسیار کم ظاهر شده باشند اما در اکثر موارد هم‌رخداد بوده‌اند. معیار اطلاعات مشترک نقطه‌ای با حذف اثر میزان رخداد جداگانهٔ 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 زبان فارسی (اسلامی و همکاران، ۱۳۸۳) که دارای بیش از ۵۴۰۰۰ واژهٔ 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 هم‌رخدای 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 این که 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.

### ۲.۳. 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

<sup>۱</sup> type frequency

استفاده از بسامد رخداد هر واژه در 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 مدنظر باشند، اما در عمل، کلمات بی‌نشان‌تر بیشتر استفاده شده و بنابراین بسامد واحد بالا اما بسامد نوع پایین داشته باشند.

#### ۴. نتایج

در نمودار ۲ بسامد نوع به‌ازای اختلاف رسایی دو همخوان در خوشهٔ 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.

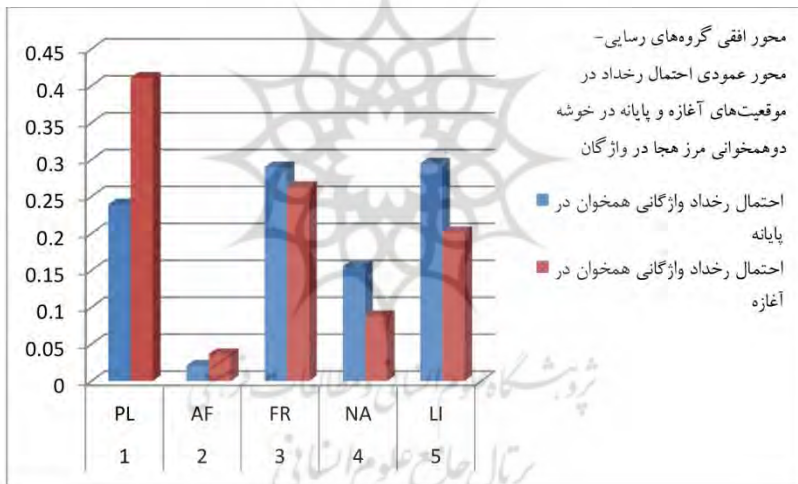


شکل ۲. بسامد نوع به‌ازای اختلاف رسایی دو همخوان در همخوان‌های C1 و C2 در مرز هجا

<sup>1</sup> token frequency

<sup>2</sup> interpolation

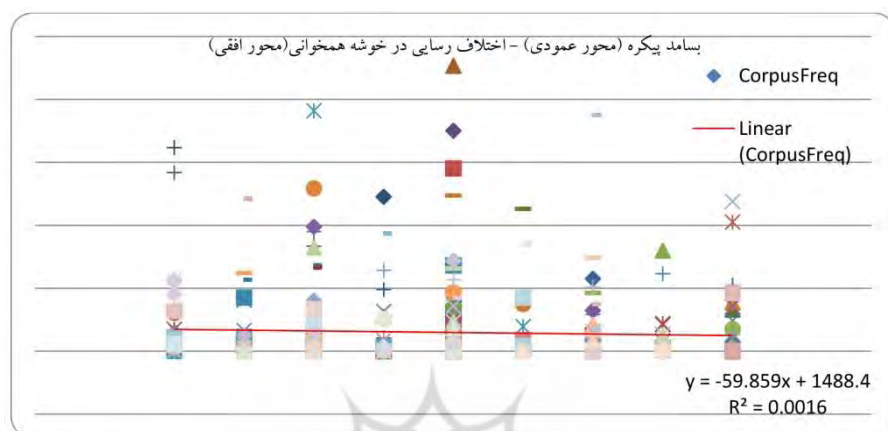
در نمودار ۳ احتمال رخداد هر یک از گروه‌های رسایی در جایگاه آغاز و پایانه با استفاده از بسامد نوع محاسبه شده و برای هر گروه مقایسه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، احتمال رخداد گروه‌های انفجاری و انسایشی در جایگاه آغاز بیشتر از احتمال رخداد آنها در محیط پایانه است. هم‌چنین گروه‌های رسایی سایشی‌ها، 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 ۲ 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.



شکل ۳. مقایسه احتمال رخداد گروه‌های مختلف رسایی در جایگاه‌های پایانه و آغاز در خوشه دوهمخوانی مرز هجا در ساختارهای CVCCVC با استفاده از بسامد نوع

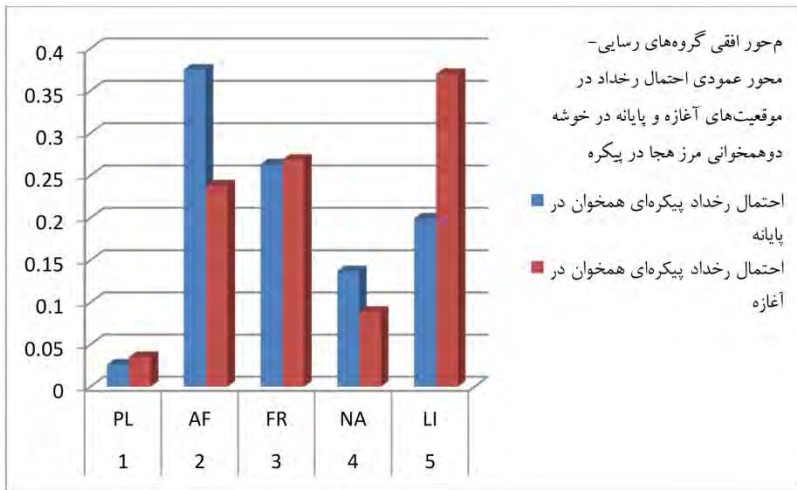
در نمودار ۴ بسامد پیکره‌ای به‌ازای اختلاف رسایی دو همخوان در خوشه دوهمخوانی مرز هجا نشان داده شده است. همانند بسامد نوع در نمودار ۲، در نمودار ۴ نیز با کاهش شیب رسایی از +۴ به -۴ بسامد واحد افزایش می‌یابد اما این افزایش بسیار ملایم و اندک

است. در واقع هرچه خوشه دوهمخوانی بی نشان‌دارتر باشد، بسامد بیشتری دارد اما بیشتر شدن بسامد شیب بسیار ملایم تری نسبت به نمودار بسامد نوع دارد.



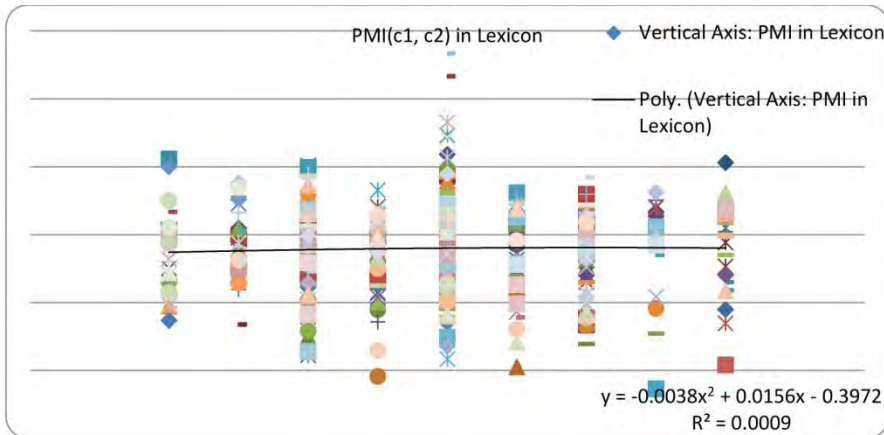
شکل ۴. بسامد واحد به‌ازای اختلاف رسایی دو همخوان در همخوان‌های C1 و C2 در مرز هجای واژه‌هایی با ساختار CVC1.C2VC

در نمودار ۵ احتمال رخداد هر یک از گروه‌های رسایی در جایگاه آغاز و پایانه در خوشه دوهمخوانی مرز هجا در ساختارهای CVCCVC با استفاده از بسامد خوشه دوهمخوانی در پیکره محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده است. تفاوت این نمودار با نمودار ۳ 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 در واژگان کاهش یافته است. این موضوع باعث هموارتر شدن شیب نمودار ۴ 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.



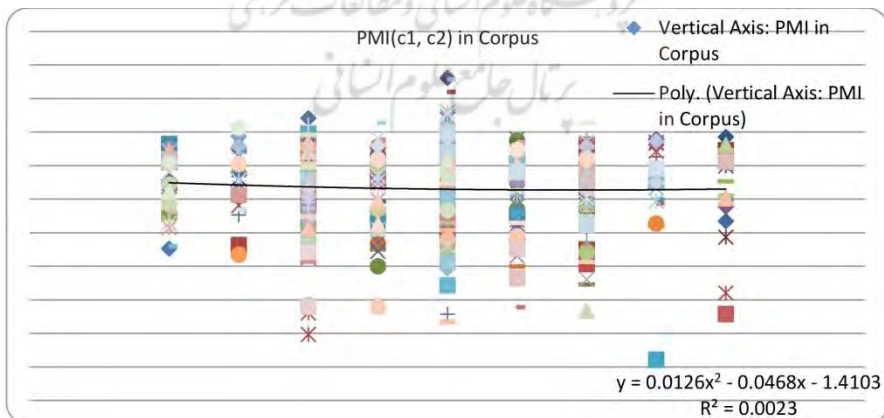
شکل ۵: مقایسه احتمال رخداد گروه‌های مختلف رسایی در جایگاه‌های پایه و آغاز در خوشه دوهمخوانی مرز هجا در ساختارهای CVCCVC با استفاده از بسامد واحد

در نمودار ۶ 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 مشاهده‌شده 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 رساتر تمایل بیشتر به حضور در جایگاه پایه و گروه‌هایی با رسایی کمتر تمایل بیشتر به حضور در جایگاه آغاز دارند.



شکل ۶. اطلاعات مشترک نقطه‌ای بین دو متغیر میزان اختلاف رسایی بین همخوان اول و دوم در خوشه دوهمخوانی بین دو هجا و بسامد واژگانی

در نمودار ۷ 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.



شکل ۷. 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 انجام‌شده نشان می‌دهد که بسامد نوع خوشه‌های دوهمخوانی مرز هجا با کاهش شیب رسایی افزایش می‌یابد (نمودار ۲) 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 ۳). هم‌چنین مشخص شد که بسامد واحد همخوان‌های انفجاری هم در جایگاه آغاز و هم در جایگاه پایانه هجا کاهش چشمگیری دارد (نمودار ۵). این کاهش نشانگر این است که اگرچه بسامد نوع این ساختارها (بسامد در واژگان) به خصوص در جایگاه آغاز بیشتر از سایر گروه‌های همخوانی است اما 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). این کاهش حضور همخوان‌های انفجاری باعث کاهش حالت‌های حدی شیب رسایی (+۴ و -۴) شده و شیب نمودار ۴ 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 ۶ و ۷). 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 مشاهده‌شده 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 به‌عنوان یک واقعیت واج‌شناختی نمی‌باشد که اگر چنین بود می‌بایست همبستگی بین این واقعیت واج‌شناختی و بسامد نوع و واحد در نمودارهای ۶ و ۷ 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 آغازه تأییدکننده 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 نظریهٔ جواز ادراکی (استریادی، ۱۹۹۷)، با توجه به این که 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 به‌وسیلهٔ انجام آزمون وضوح گفتار این همخوان‌ها در جایگاه پیش‌همخوانی و مقایسهٔ آن با جایگاه پیش‌واکه‌ای در زبان فارسی می‌تواند شواهد بیشتری را از این موضوع به دست دهد.

محدودیت‌های نشان‌داری باعث می‌شود تا گونه‌های نشان‌دارتر به‌مرور زمان بی‌نشان‌تر شده و به‌مرور بسامد گونه‌های بی‌نشان در واژگان بالاتر رود. هم‌چنین 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 به‌مرور بیشتر شود. با توجه به این که نتایج به‌دست 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 ذکرشده از تغییرات زبانی در جهت کاهش نشان‌داری شیب رسایی در مرز هجا، می‌توان نتیجه گرفت که با وجود تأثیر 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 دائمی در محیط‌های کاری می‌تواند یک عامل محرک برای تولید گونه‌های بی‌نشان‌تر که از نظر شنیداری مقاوم‌تر نسبت به نوفه هستند، باشد. بررسی این گمان پژوهش جداگانه‌ای را می‌طلبد.

با توجه به این که 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 باشد. در صورتی که در زبانی آغاز 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. به‌عنوان 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 این که زبان فارسی اجازه وجود یک هجای تک‌واکه‌ای و خوشه همخوانی در آغاز را نمی‌دهد، نیاز به محدودیتی برای مشخص کردن مرز هجا ندارد و برای زنجیره فوق تنها ساخت هجایی مجاز CV, CVC 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 نماید. 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، باید 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 فرانسه) و چند زبان با مرز هجای غیر قطعی (مانند انگلیسی و قزاقی) به روش‌های آماری اشاره شده در این مقاله انجام گردد، می‌توان از نتایج این مقاله در مطالعات رده‌شناختی نظام آوایی زبان فارسی استفاده کرد.

## منابع

اسلامی، محرم، مسعود شریفی آتشگاه، صدیقه علیزاده لمجیری و طاهره زندی (۱۳۸۹). «واژگان زایای زبان فارسی». *زبان فارسی و رایانه*. ج ۱. به کوشش حسین صامتی و محمود بی‌جن‌خان. تهران: انتشارات سمت. صص ۳۸-۳۰.

Ahmadkhani, M. (2010). "Phonological Metathesis in Persian: Synchronic, Diachronic, and the Optimality Theory". *Pazhuhesh-e Zbanhay-e Khareji*. 56. Special Issue, English. Spring 2010. pp. 5-24.

Burquest, Donald A. & David L. Payne (1993). *Phonological Analysis: A Functional Approach*. Dallas: Summer Institute of Linguistics.

Clements, G. N. (1990). "The Role of the Sonority Cycle in Core Syllabification". *Papers in Laboratory Phonology I: Between the Grammar and the Physics of Speech*. New York: Cambridge University Press. pp. 283-333.

Gouskova, M. (2004). "Relational Hierarchies in Optimality Theory: The Case of Syllable Contact". *Phonology*. 21. Cambridge Univ Press. pp. 201-250.

Harris, J. (2005). "The Phonology of Being Understood: Further Arguments against Sonority". *Lingua*. vol 116. Issue 10. pp 1483-1494.

Keshavarz, M. (2000). "A Sociolinguistic Analysis of ethathsis in Persian". *Journal of Humanities*. Winter-Spring 2000. vol. 7. No. 1. pp. 16-22.

Ladefoged, Peter & 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*. In: <<https://kbmcgowan.github.io/publications/mcgowan-cls45.pdf>>
- Selkrik, Elizabeth (1984). "On the Major Class Features and Syllable Theory". *Language Sound Structure: Studies in Phonology Dedicated to Morris Halle by his Students*. M. Aronoff and R.T. Oherle (eds). MIT Press, Cambridge, Mass. pp.107-136.
- Steriade, D. (1997). *Phonetics in Phonology: The case of Laryngeal Neutralization*. UCLA ms.
- Vennemann, T. (1988). *Preference Laws for Syllable Structure and the Explanation of Sound Change: With Special Reference to German, Germanic, Italian, and Latin*. Berlin: Mouton de Gruyter.
- Wright, R. A. (2004). "A Review of Perceptual Cues and Cue Robustness". *Phonetically Based Phonology*. B. Hayes, R. Kirchner & D. Steriade (eds.). Cambridge; New York: Cambridge University Press. pp. 34-57.

