

طراحی و ارزیابی یک سامانه بازسازی گفتار به

روش هم‌گذاری واحدهای حساس به بافت نوایی

وحید صادقی

دانشگاه بین المللی امام خمینی

چکیده:

در این مقاله، سه گونه گفتاری متفاوت از کلماتی یکسان از طریق هم‌گذاری هجاهای به سه روش متفاوت بازسازی شدند. در روش اول، کلمات از طریق هم‌گذاری هجاهای حساس به بافت نوایی بدون پردازش فرکانس پایه و دیرش هجاهای ساخته شدند. در روش دوم، ابتدا کلمات با هجاهای غیرنوایی هم‌گذاری و سپس هجاهای نوایی کلمات در سطح جمله در حوزه فرکانس پایه و دیرش پردازش شدند. در روش سوم، کلمات بدون هر گونه پردازش نوایی از طریق هم‌گذاری هجاهای غیرنوایی ساخته شدند. کلمات بازسازی شده سپس در جایگاههای نوایی آغاز و پایان IP، AP و PW در درون سه جمله حامل قرار داده شده و پس از تولید در یک آزمون ادراکی به آزمودنی‌ها ارائه شدند. نتایج آزمون ادراکی نشان داد که کیفیت گفتار بازسازی شده نوع اول و دوم در تمامی جایگاههای نوایی به طور معنی‌داری از نوع سوم طبیعی‌تر است. هم‌چنین بر اساس نتایج به دست آمده کیفیت گونه‌های گفتاری نوع اول و دوم در حد "طبیعی" است ولی میزان طبیعی بودن گونه گفتاری نوع اول در تمامی جایگاه‌ها از نوع دوم بیشتر است و این تفاوت در بعضی از جایگاه‌ها معنی‌دار است. این نتایج نشان می‌دهد واحدهای حساس به بافت نوایی، کیفیت گفتار بازسازی شده را تا حد قابل قبولی بهبود می‌بخشد.

واژگان کلیدی: بازسازی گفتار، واحدهای نوایی، گروه آهنگ، گروه زیروبمی، کلمه واجی، تغییرات زنجیره‌ای و زبرزنجیره‌ای

این مقادیر با محاسبه میانگین مقادیر فرکانس پایه و ترادف زمانی نواختها از سطح پیکره‌های گفتاری به دست می‌آید. در مرحله دوم زنجیره آوایی هم‌گذاری شده متناسب با الگوی نوایی جمله و مطابق با مقادیر مرجع فرکانس پایه و ترادف زمانی در دو حوزه فرکانس و زمان تنظیم می‌شود و به این ترتیب برابرهای آوایی جدیدی برای هر واحد بازسازی متناسب با بافت نوایی جمله مورد نظر ساخته می‌شود. این روش یکی از رایج‌ترین روش‌های بازسازی آهنگ است و در تهیه بسیاری از برنامه‌های بازسازی مانند فستیوال (Alan and Lenzo, 2033) و (Alan, et al., 1999) و می‌تک (Allen, et al., 1987) مورد استفاده قرار گرفته است.

در همین اواخر روش دیگری در بازسازی نوای گفتار مطرح شده است که بر اهمیت جایگاه و بافت نوایی در تهیه برابرهای آوایی واحدهای بازسازی و تأثیر آن بر کیفیت گفتار بازسازی شده تأکید بسیار دارد. این روش مبتنی بر این فرض

۱- مقدمه

در برنامه‌های بازسازی گفتار به روش هم‌گذاری، برابرهای آوایی واحدهای بازسازی از پیش ذخیره شده و طی فرایند هم‌گذاری بازخوانی و در کنار قرار می‌گیرند (Sato, 1992). در این برنامه‌ها بازسازی نوای گفتار در بخشی جداگانه با عنوان واحد پردازش نوایی انجام می‌شود. در این بخش منحنی زیروبمی گفتار طی دو مرحله بازسازی می‌شود. در مرحله اول، الگوی نوایی جملات در دو سطح واجی و آوایی تعیین می‌شود. در سطح واجی الگوی آهنگ به صورت توالی (Ladd, 1980) از نواختها مانند نواخت L، H و غیره (L-H*) و (H-L) می‌شود. در مرحله دوم، این نواختها بازسازی می‌شوند و میانند (Piérrehumbert, 1981) یا الگوهای زیروبمی کیفی مانند خیزان، افتان (Ladd, 1980) بازنویسی می‌شوند. در سطح آوایی مقادیر مرجع فرکانس پایه و ترادف زمانی (نسبت زمانی نواخت با زنجیره آوایی) برای هر نواخت یا الگوی زیروبمی کیفی مشخص می‌شود (Piérrehumbert, 1981).

کلمهٔ واجی، کمتر از واحدهای نوایی بزرگ‌تر مانند گروه زیروبمی و گروه آهنگ است. وی این فرضیه را مطرح کرد که فعالیت الگوهای تولیدی در پایان واحدهای نوایی بزرگ‌تر بیشتر از واحدهای کوچک‌تر کاهش می‌یابد و در مقابل، فعالیت این الگوها در آغاز واحدهای بزرگ‌تر در مقایسه با واحدهای نوایی کوچک‌تر افزایش می‌یابد. در (Keating, et al., 1998) نیز طی یک آزمایش تولیدی نشان داده شده که هم‌خوان های /t/ و /n/ در جایگاه آغازه هجا در سطح واحدهای نوایی مختلف در زبان‌هایی هم‌چون انگلیسی، فرانسه، کره‌ای و تایوانی با الگوهای تولیدی متفاوت تولید می‌شود. هم‌چنین در آزمایش تولیدی بر روی (Cho and Keating, 2001) /t/ در زبان کره‌ای /t^h, t^{*}, n/ نشان داده شده که این هم‌خوان‌ها در سطوح بالاتر سلسه‌مراتب نوایی تولید قوی‌تری دارند چون هم سطح تماس زبان-کامی در این سطوح بیشتر است و هم دیرش زمانی ناحیهٔ بست طولانی‌تر است. بررسی تغییرات واج‌گونه‌ای پیوسته حساس به بافت نوایی در زبان کره‌ای (Yoon, 2008) نشان داد که بخش آغازی واکه /a/ بعد از سایشی دمیده /s^h/ در مقایسه با سایشی سخت /s^{*}/ نفسی‌تر است و میزان نفسی شدن واک بسته به جایگاه هم‌خوان سایشی در سطوح مختلف ساخت نوایی گفتار مانند کلمهٔ واجی، گروه زیروبمی و گروه آهنگ متفاوت است. این تغییرات پیوسته زنجیره‌ای در زبان فارسی نیز قابل مشاهده است. به‌طور مثال تکیهٔ واژگانی در زبان فارسی بر مقدار زمان شروع واک یا دیرش قطعه رهش انسدادی‌های بی‌واک اثر می‌گذارد (صادقی، ۱۳۸۶؛ نوربخش، ۱۳۸۸). دیرش قطعه رهش انسدادی بی‌واک [t^h] در آغاز هجای تکیه‌بر کلمه "كتاب" در مقایسه با آغاز هجای فاقد تکیه در کلمه "تابان" طولانی‌تر است.

بر این اساس می‌توان گفت که ماهیت بسیاری از تغییرات و تقابل‌های آوایی در ساخت زنجیره‌ای گفتار تنها در قالب الگوی نوایی گفتار معلوم می‌گردد و روش است که برنامه‌های بازسازی گفتار برای بهبود کیفیت گفتار بازسازی‌شده باید این تغییرات آوایی حساس به بافت نوایی را در برنامه لحاظ کنند. در اکثر برنامه‌های بازسازی گفتار، تمامی تغییرات زنجیره‌ای به غیر از تغییرات هم‌تولیدی در قالب قواعد بازنویسی^۵ (برنامهٔ بازسازی می‌تاك^۶) یا قواعد

است که با انتخاب برابرهای آوایی یک واحد بازسازی از بافت‌های نوایی متنوع و ذخیره‌سازی آن‌ها در دادگان برنامه، واحدهای بازسازی با حفظ ویژگی‌های طبیعی زنجیره‌ای و زبرزنگیره‌ای خود در جایگاه‌های نوایی مختلف وارد زنجیره گفتار بازسازی‌شده می‌شوند که این مسئله باعث می‌شود کیفیت گفتار بهبود یابد (Yoon, 2004 and 2008) و (Hirschberg and Prieto, 1996). با وجود واحدهای حساس به بافت نوایی اول آن که واحدها با حفظ ویژگی‌های نوایی طبیعی و ذاتی خود در جایگاه‌های نوایی مختلف از جمله دیرش، زیروبمی و شدت انرژی وارد زنجیره گفتار بازسازی‌شده می‌شوند و حجم تغییرات و تنظیمات نوایی لازم برای بازسازی آهنگ گفتار پس از هم‌گذاری واحدها کاهش می‌یابد. دیگر آن که تغییرات زنجیره‌ای پیوسته گفتار طبیعی در گفتار بازسازی‌شده حفظ می‌شود.

مطالعات انجام‌شده بر روی زبان‌های مختلف نشان می‌دهد که برخی ویژگی‌های زنجیره‌ای گفتار به صورت تابعی از الگوی نوایی واحدها قابل تغییر است. در (Pierehumbert and Talkin, 1992) طی یک آزمایش درباره رابطه بین میزان فعالیت هم‌خوان‌های چاکنایی /h/ و /ʔ/ و ساخت نوایی زبان انگلیسی نتیجه‌گیری شده است که عواملی هم‌چون تکیهٔ واژگانی، تکیهٔ زیروبمی و جایگاه این هم‌خوان‌ها نسبت به مرز کلمهٔ واجی^۱، گروه واجی^۲ و گروه آهنگ^۳ بر میزان فعالیت این هم‌خوان‌ها اثر می‌گذارد. به‌طور مثال توزیع واک بازداشتne در واکه‌های آغازی کلمه منطبق بر مرز گروه آهنگ در مقایسه با مرزهای نوایی کوچک‌تر بیشتر است. در (Jun, 1993) با اندازه‌گیری و مقایسه مقدار زمان شروع واک (VOT) برای انسدادی نادمیده /p^h/ در زبان کره‌ای در سه جایگاه نوایی آغاز گروه زیروبمی^۴، آغاز کلمه واجی و میان کلمه واجی نتیجه‌گیری شده است که مقدار این پارامتر در سطوح بالاتر سلسه‌مراتب نوایی در مقایسه با سطوح پایین‌تر بیشتر است. به علاوه مقدار آن در جایگاه‌های آغازی سطوح نوایی در مقایسه با جایگاه‌های میانی بیشتر است. در (Smith, 1997) در یک آزمایش تولیدی درباره واکرفتگی این هم‌خوان سایشی بسته به جایگاهش در ساخت سلسه‌مراتبی نوایی گفتار متفاوت است به این صورت که واکرفتگی در پایان واحدهای نوایی کوچک‌تر مانند هجا و

¹ Phonological word² Phonological phrase³ Intonational phrase⁴ Accidental phrase

چندین گروه آهنگ را بازسازی کرد. وی سپس بهازای هر یک از این گروه‌ها گونه دیگری را نیز ساخت که در آن دایفون‌ها در جایگاه نامناسب نوایی قرار داده شدند. در پایان در یک آزمایش شنیداری از آزمودنی‌ها خواست کیفیت گفتار بازسازی‌شده را ارزیابی کنند. نتایج نشان داد که آزمودنی‌ها گونه‌هایی را که در آن‌ها دایفون‌های وابسته به بافت نوایی به کار رفته بود طبیعی می‌دانند.

۲- طراحی آزمایش

در این بخش با انجام یک آزمایش شنیداری، کیفیت سه گونه گفتار بازسازی‌شده را با مورد مقایسه قرار می‌دهیم. گونه گفتاری نخست، مبتنی بر دادگان واحدهای حساس به بافت نوایی است که تمامی تغییرات طبیعی پیوسته آوایی در سطح واحد بازسازی را در هم به لحاظ ویژگی‌های زنجیرهای و هم زبرزنجیرهای شامل می‌شود و بنابراین زنجیرهای که از طریق هم‌گذاری واحدهای حساس به بافت نوایی بازسازی می‌شود، در درون واحدهای بازسازی به کمترین پردازش آوایی نیاز دارند. گونه گفتاری دوم بر پایه دادگانی ساخته می‌شود که در آن بهازای هر واحد بازسازی تنها یک برابر آوایی مستقل از بافت نوایی وجود دارد. این برابر آوایی در تمامی جایگاه‌های نوایی آن واحد در زنجیره گفتار قرار می‌گیرد و پس از هم‌گذاری واحدها، برابر آوایی مورد نظر در حوزه فرکانس و زمان تنظیم می‌شود تا سایر برابرهای آوایی آن واحد به تناسب جایگاه نوایی آن بازسازی شوند، ولی هیچ‌گونه پردازش زنجیرهای برای اعمال تغییرات زنجیره‌ای پیوسته در گفتار طبیعی بر روی آن صورت نمی‌گیرد. گونه گفتاری سوم نیز هم‌چون گونه دوم، بر پایه واحدهای مستقل از بافت نوایی ساخته می‌شود با این تفاوت که زنجیره گفتاری نوع سوم تنها از صورت هم‌گذاری شده واحدها به دست می‌آید و هیچ‌گونه پردازش یا تنظیمات آوایی بر روی واحدها انجام ننمی‌شود. سؤالات تحقیق عبارتند از: ۱- اعمال (گونه‌های اول و دوم) یا عدم اعمال (گونه سوم) تغییرات نوایی در بازسازی گفتار تا چه حد بر کیفیت گفتار بازسازی‌شده اثر می‌گذارد.

۲- اعمال (گونه اول) تغییرات زنجیره‌ای پیوسته در مقابل عدم اعمال این تغییرات تا چه اندازه بر کیفیت گفتار بازسازی شده اثر می‌گذارد.

۲-۱- دادگان آزمایش

در این آزمایش هجا به عنوان واحد بازسازی انتخاب شد. هجا در زبان فارسی دارای سه ساخت CV، CVC و CVCC است

پساوازگانی^۱ (برنامه بازسازی فستیوال) به سبک قواعد واج‌گونه‌ای اسپی‌ای در برنامه لحاظ می‌شود (*AlanBlack, et al., 1999*). به طور مثال، بخش واجی برنامه می‌تاك شامل شش قاعدة بازنویسی زنجیره‌ای است که در مز کلمه و گروه عمل می‌کنند. یکی از این قواعد، قاعدة زنشی‌شدگی^۲ است که بر اساس آن /t/ و /d/ بعد از یک رسای غیرخیشومی و قبل از واکه با تکیه غیراصلی به صورت زنشی تولید می‌شوند (*Allen, et al., 1987*, sat on a chair). بعضی از همین قواعد در برنامه بازسازی فستیوال در بخش پساوازگانی برنامه اعمال می‌شوند (*Alan and Lenzo, 2003*). اما همان‌طور که طراحان این برنامه‌ها نیز پذیرفته‌اند، این بخش برنامه نیاز به تحقیقات بیشتر دارد. مسئله این است که تغییرات واج‌گونه‌ای حساس به بافت نوایی را نمی‌توان به طور کامل و منظم به این روش در برنامه اعمال کرد. به عنوان مثال اگرچه تناوب‌های مقوله‌ای مانند تناوب at all و sat on the chair در $k \approx k^h$ در the car و discover را هم‌چنین دمیده/ نادمیده می‌توان با استفاده از قواعد بازنویسی یا پساوازگانی در برنامه لحاظ کرد، ولی این قواعد نمی‌توانند تغییرات پیوسته this car دمیدگی را در بافت‌های نوایی متفاوت مثل career و ... اعمال کنند. برای این که این تغییرات را در برنامه اعمال کنیم، بهترین راه این است که واحدهای بازسازی را از سطح بافت‌های نوایی، تغییرات نوایی و به کارگیری واحدهای حساس به بافت نوایی، تغییرات زنجیره گفتار بازسازی‌شده اعمال شده و کیفیت گفتار بهبود می‌یابد (*Yoon, 2004 and 2008*). در (Yoon, 2008) برای طراحی و ساخت برنامه بازسازی گفتار کره‌ای به شیوه‌گذاری، به طور آزمایشی و در مقیاس محدود از دایفون‌های وابسته به بافت نوایی استفاده شده است. برای این منظور وی ابتدا برابرهای آوایی هر دایفون از مجموع دایفون‌های مورد آزمایش (۳۶٪ کل دایفون‌های ممکن زبان کره‌ای) را از سطح چهار جایگاه نوایی از نسخه گفتاری پیکره متنی زبان کره‌ای انتخاب و در یک دادگان جداگانه ذخیره کرد. این جایگاه‌ها عبارت بودند از: سه جایگاه کناری در آغاز گروه آهنگ، گروه زیروبمی و کلمه واجی و یک جایگاه غیرکناری در میان کلمه واجی. سپس با هم‌گذاری دایفون‌ها در جایگاه‌های نوایی مناسب

¹ Post-lexical rules

² Flapping rule

/kar.gar/ و /tar.mim/ می‌نامیم. هم‌چنین به‌ازای انسدادی‌های واکدار /b/، /d/ و /g/ یک کلمه با ساخت هجایی مشابه انتخاب شد به‌طوری‌که این همخوان‌ها در جایگاه آغاز هجای دوم قرار داشتند: نگار /ne.gar/، شدید /ʃa.did/ و دوربرد /dur.bord/. این کلمات را کلمات نوع دوم می‌نامیم. بر این اساس انسدادی‌های بی‌واک در درون هجاهای فاقد تکیه واژگانی و انسدادی‌های واکدار در درون هجاهای دارای تکیه واژگانی قرار داشتند. به‌ازای هر کلمه نوع اول، سه جمله حامل کوتاه ساخته شد؛ به‌طوری‌که کلمه هدف هر بار در دیگر ساخته شد؛ به‌طوری‌که کلمه هدف هر بار در یکی از جایگاه‌های نوایی پایان IP، آغاز AP و آغاز PW گرفت. هم‌چنین به‌ازای هر کلمه هدف نوع دوم، سه جمله حامل دیگر ساخته شد؛ به‌طوری‌که کلمه هدف هر بار در یکی از این ترتیب به‌ازای هر همخوان انسدادی، سه هجای نوایی ساخته شد؛ یعنی در مجموع هیجده هجای نوایی که از این تعداد ۹ هجا مربوط به آغاز یا لبّ سمت چپ واحدهای نوایی و ۹ هجای دیگر مربوط به پایان یا لبّ سمت راست واحدها هستند. لازم به ذکر است که برای کنترل اثر متغیر بافت آوایی بر هجاهای هدف، کلمات با ساخت هجایی CVC.CVC(C) طوری انتخاب شدند که همخوان‌های واقع در مرز هجا واکدار باشند. مثال‌های ۳-۱ کلمات هدف نوع اول را در جایگاه آغاز IP (الف)، AP (ب) و PW (ج) و مثال‌های ۶-۴ کلمات هدف نوع دوم را در جایگاه پایان همان واحدهای نوایی نشان می‌دهد.

۱- "پرداخت" /par.dəxt/

<[par.dəxt] {kar.dam}> الف) پرداخت کردم.
ب) علی پول را به من پرداخت کرد.

ج) از پرداخت کردن قسط خسته شدم.

<[?ali] [pul] {ro} [be]{man} [par.dəxt] {card}>
۲- "ترمیم" /tar.mim/

<[tar.mim]{kar.dam}> الف) ترمیم کردم.
ب) بافت آسیب‌دیده را ترمیم کرد.

<[baf.te]{?a.sib.di.de}{ro} [tar.mim] {card}>
ج) بافت پس از ترمیم کردن بهبود می‌یابد.

<[baft][pas.az]{tar.mim}{kar.dan}[beh.bud]{mi.ya.bad}>
۳- "کارگر" /kar.gar/

<[kar.gar]{?ast}> الف) کارگر است.
<[?ali][kar.gar]{?ast}> ب) علی کارگر است.

که تعداد همخوان‌ها ۲۳ و تعداد واکهای ۶ عدد است (ثمره، ۱۳۷۸: ۱۱۱-۱۰۱). ساخت سلسله‌مراتبی گفتار فارسی شامل سه واحد نوایی است: گروه آهنگ^۱، گروه زیروبمی^۲ و کلمه واجی (سادات تهرانی، ۲۰۰۷). گروه آهنگ بزرگ‌ترین واحد نوایی در سلسله‌مراتبی گفتار فارسی است. هر گروه آهنگ، متناظر با یک جمله ساده است. گروه زیروبمی واحد نوایی کوچک‌تر از گروه آهنگ است که متناظر با یک گروه نحوی مانند گروه اسمی، فعلی یا حرف اضافه است که در آن، هجای پایانی تکیه اصلی واقع می‌شود. در صورت وجود واژه‌بستها هجای پیش از واژه‌بست دارای تکیه اصلی است. کلمه واجی نیز واحد نوایی کوچک‌تر از گروه زیروبمی است که متناظر با یک واژه‌قاموسی به همراه واژه‌بست‌های آن است. یک هجا مانند /ba/ در زبان فارسی می‌تواند در آغاز (لبه سمت راست) یا پایان (لبه سمت چپ) این سه واحد نوایی متفاوت قرار بگیرد: آغاز یا پایان یک گروه آهنگ (IP)؛ آغاز یا پایان یک گروه زیروبمی (AP) و آغاز یا پایان یک کلمه واجی (PW). به‌طور مثال، /ba/ در "بزنه شدم" در جایگاه آغاز IP؛ در "ایران بزنه شد" در جایگاه آغاز AP و در "برای بزنه شدن تلاشی نکرد" در جایگاه آغاز PW است. برای تشخیص جایگاه‌های نوایی از نشانه‌های مرزی <>، []، { } به ترتیب برای گروه آهنگ، گروه زیروبمی و کلمه واجی استفاده می‌شود. بر این اساس برابرهای آوایی این هجا در آغاز جایگاه‌های نوایی IP، AP و PW به ترتیب به صورت <ba> و {ba} و [ba] و در پایان همین جایگاه‌ها به صورت <ba> و {ba} است. این برابرهای آویی وابسته به بافت نوایی را هجاهای نوایی می‌نامیم. فرض ما بر آن است که یک واحد آوایی مانند b در سطح این جایگاه‌های نوایی به صورت متفاوت تظاهر می‌یابد. یک جمله کوتاه مانند "یک شبکه خبری تأسیس شد" که شامل یک IP، دو AP، پنج PW و ۱۱ هجا است، دارای ساخت نوایی زیر است:

<[yek] {sa.ba.ke.ye} {χa.ba.ri]} [{ta?sis}{fod}]>

<{CVC}{CV.CV.CV.CV}{CV.CV.CV} [{CVC.CVC}{CVC}]>

انسدادی‌های بی‌واک و واکدار زبان فارسی به عنوان همخوان‌های هدف انتخاب شدند. به‌ازای هر یک از انسدادی‌های بی‌واک /p/ و /k/ یک کلمه با ساخت هجایی CV(C).CVC(C) انتخاب شد، به‌طوری‌که همخوان‌های مورد نظر در جایگاه آغاز هجای اول قرار داشتند. این کلمات عبارتند از پرداخت /par.dəxt/، ترمیم

¹ Intonational phrase

² Accentual phrase

دامنه ارتعاش تارآواها برای واکه در هجای اوّل به میزان قابل توجّه‌های کاهش می‌باید. این ناحیه ناظر بر آغاز محدوده بست هم‌خوان انسدادی است. برای هم‌خوان‌های انسدادی بی‌واک تشخیص پایان واکه آسان است، چون به دنبال واکه یک دوره بی‌واکی کامل همراه با سکوت و نوفه ظاهر می‌شود ولی برای انسدادی‌های واکدار این تشخیص سخت‌تر است؛ چون ارتعاش تارآواها برای واکه در هجای اوّل به مدت ۲۰ تا ۳۰ میلی‌ثانیه پس از شروع هجای دوم ادامه می‌باید. الگوی تقطیع هجا برای V.fricative مشابه stop. است با این تفاوت که برای سایش‌های واکدار نوفه و واک در پایان واکه به طور همزمان تظاهر می‌باید. در زنجیره آوایی V. liquid چون تظاهر هم‌خوان‌های روان بر روی طیف‌نگاشت به صورت امواج پیچ در پیچ و مدور است، شروع این ناحیه به عنوان نقطه شروع هجای دوم در نظر گرفته می‌شود. تعیین لحظه شروع این ناحیه بر روی طیف‌نگاشت آسان نیست. به طور معمول کمینه حداقل میزان دامنه این ناحیه، محل شروع هجای دوم محسوب می‌شود. برای زنجیره مرز هجا stop. fricative/affricate هم‌خوان انسدادی و آغاز قطعه سایش هم‌خوان سایشی یا انسدادی سایشی است. در زنجیره liquid. stop مرز هجا ناحیه‌ای است که در آن ارتعاش تارآواها بلا فاصله پس رهش هم‌خوان انسدادی شروع شده و یا دامنه آن به طور قابل توجّه‌های افزایش می‌باید. برای زنجیره fricative. fricative/affricate مرز هجا وسط قطعه سایش این هم‌خوان‌هاست. یکی دیگر از نشانه‌های این مرز هجایی نحوه توزیع انرژی در نواحی مؤثر فرکانسی است. توزیع انرژی در فرکانس‌های مختلف با توجه به محل تولید این هم‌خوان‌ها متفاوت است. به عنوان مثال برای [s] توزیع انرژی روی فرکانس‌های بالای ۴۰۰۰ هرتز است در حالی که برای [f] روی فرکانس‌های پایین است. بر این اساس اگر [s] و [f] در مرز هجا در مجاورت ظاهر شوند، مرز آن‌ها را می‌توان از طریق توزیع نابرابر انرژی روی فرکانس‌ها بر روی طیف‌نگاشت تشخیص داد. در زنجیره آوایی V.C liquid. stop/fricative/affricate تارآواها یا افزایش دامنه آن پس از پایان قطعه سایش هم‌خوان سایشی است. برای مرز هجا همزمان با اگر هم‌خوان‌های گرفته بی‌واک باشند، مرز هجا همزمان با لحظه پایان ارتعاش تارآواها برای هم‌خوان روان است. برای هم‌خوان‌های گرفته و واکدار ارتعاش در نواحی مرزی ادامه دارد؛ بنابراین لحظه‌ای که دامنه ارتعاش

ج) از کارگر گرفتن منصرف شد.

<[{?az} {kor.gar} {ge.ref.tan}]> [[{mon.sa.ref} {fod}]]
⁹ - "نگار" /ne.gar/

(الف) ناراحته از نگار.
<[{pi.se} {ne.gar}]> [[{bord}]]
ب) پیش نگار برد.

ج) به نگار گفتن مشکلی را حل نمی‌کنه.
<[{be} {ne.gar} {gof.tan}]> [[{moſ.ce.li} {ro}]> [[{ne.mi.ko.ne}]]
⁹ - "شدید" /ʃa.did/

(الف) (چرا از حال رفت؟) از ترس شدید.
<[{?az} {tar.se}]> [[{ja.did}]]
ب) از ترس شدید سکته کرد.

<[{?az} {tar.se}]> [[{sec.te} {card}]]
ج) شوک شدید دادن بی فایده است.

<[{ſo.ce}]> [[{a.did} {da.dan}]] [[{bi.fa.ye.de} {?ast}]]
⁹ - "دوربرد" /durbord/

(الف) (با چی شلیک کرد؟) با سلاح دوربرد
<[{ba} {se.la.he}]> [[{dur.bord}]]
ب) با سلاح دوربرد شلیک کرد.

<[{ba} {se.la.he}]> [[{ſel.lic} {card}]]
ج) دوربرد بودن سلاح کمکی نمی‌کنه.
<[{dur.bord} {bu.da.ne} {se.lah}]> [[{ko.ma.ci}]> [[{ne.mi.ko.ne}]]>

۲-۲- روش آزمایش

هیجده جمله ساخته شده (۳ واحد آوایی X ۳ جایگاه نوایی X ۲ نوع کلمه) توسط یک گویشور مرد تولید شدند. ضبط جملات در یک اتاق آرام در دانشگاه امام خمینی انجام شد. داده‌ها با استفاده از میکروفون شور با پاسخ بسامدی مناسب بر روی کارت صوتی یک رایانه شخصی ضبط شدند. پس از ضبط جملات مراحل زیر انجام شد:

۲-۱-۲- تقطیع هجا

تمامی هجاهای کلمات هدف تقطیع و استخراج شدند. تعیین دقیق مرز هجاهای در فضای آوایی به علت هم‌پوشی و هم‌تولیدی واچ‌ها دشوار است. نگارنده برای تعیین مرز هجا در زنجیره‌های آوایی C.C^۱ و C.C^۲ که تنها مرزهای هجایی ممکن فارسی هستند، از معیارهای ارائه شده در (Lewis and Tatham, 2001) پیروی کرده است. بر این اساس، در زنجیره آوایی V. stop مرز هجا جایی است که

^۱ ساخت هجا در زبان فارسی به صورت CV، CVC و یا CVCC است بنابراین مرز هجا در زنجیره گفتار فارسی به دو صورت است: یکی V.C و دیگری C.C

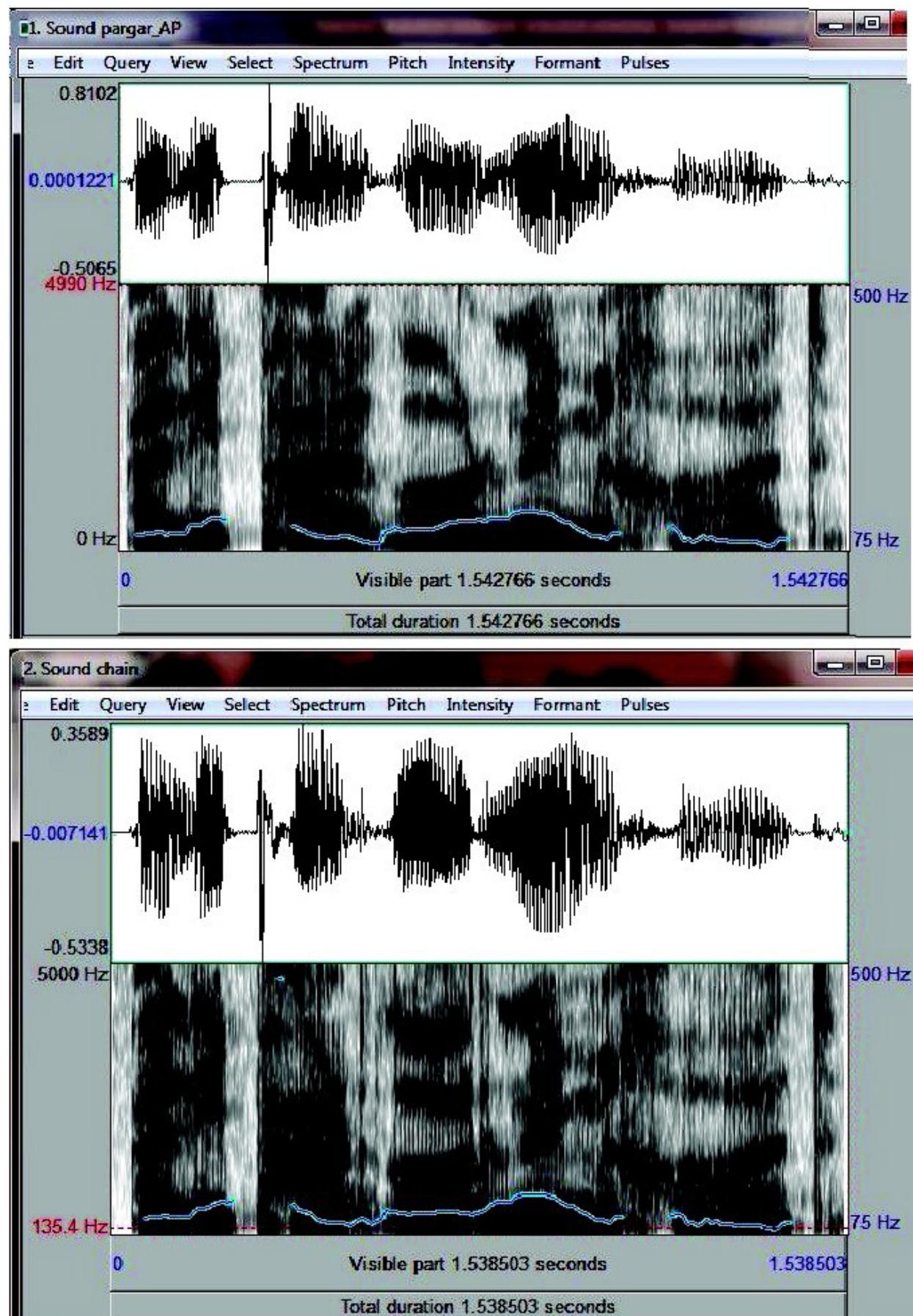
هجای نوایی <par> (از کلمه "پرداخت" مثال ۱ الف) با هجای نوایی <gar> IP (از کلمه "نگار" ۴ الف)، بار دیگر هجای نوایی [par AP] با هجای نوایی [gar AP] و در مرحله par پایانی هجای نوایی par {PW} با هجای نوایی pw هم گذاری شدند. همین مراحل برای کلمات "تردید" و "کاربرد" هم تکرار شد. به این ترتیب به ازای هر یک از این کلمات، سه گونه حساس به بافت نوایی با در نظر گرفتن جایگاه نوایی هجاهای هدف ساخته شدند. سپس بهازای هر یک از کلمات "پرگار"، "تردید" و "کاربرد" سه جمله حامل ساخته و توسط همان گویشور تولید شد. این کلمات در جملات اول در جایگاه نوایی IP؛ در جملات دوم در جایگاه نوایی AP و در جملات سوم در جایگاه PW قرار داشتند. سرانجام، گونه‌های نوایی بازسازی شده مربوط به هر کلمه در درون این جملات به جای همان کلمات با الگوی نوایی مشابه قرار داده شدند. جملات ۹-۷ کلمات "پرگار"، "تردید" و "کاربرد" را در جملات حامل مربوطه در جایگاه آغاز و پایان سطوح نوایی IP (الف)، AP (ب) و PW (ج) نشان می‌دهد:

-۷ "پرگار" /pargar/
 (الف) (چی گفت؟) پرگار. <[{{par.gar}}]>
 (ب) علی پرگار نمی‌خواهد.
 <[{{?a.li}}] [[{{par.gar}}][[{{ne.mi.χa.had}}]]>
 (ج) از پرگار خریدن خسته شدم.
 <[{{?az}}{{par.gar}}{{χa.ri.dan}}][[{{χas.te}}{{fo.dam}}]]>
 -۸ "تردید" /tar.did/
 (الف) (چی گفت؟) تردید <[{{tar.did}}]>
 (ب) علی تردید نخواهد کرد.
 <[{{?a.li}}] [[{{tar.did}}][[{{na.χa.had}}][{{kard}}]]>
 (ج) با تردید نگریستن به مسائل.
 <[{{ba}}] [[{{tar.did}}][[{{ne.ga.ris.tan}}][{{be}}{{ma.sa.?el}}]]>

به طور ناگهانی کاهش می‌یابد به عنوان مرز هجا در نظر گرفته می‌شود. هم‌چنین با توجه به تأثیر الگوی فرکانسی هم‌خوان‌های خیشومی بر بافت زنجیره‌ای مجاور، مرزهای هجایی شامل هم‌خوان‌های خیشومی از جمله V. nasal و stop.nasal، fricative.nasal، liquid.nasal ساخت کلمات هدف انتخاب نشدن. هم‌چنین چون دیرش قطعه رهش انسدادی‌های بی‌واک بعد از سایشی‌های بی‌واک /s/ و /ʃ/ به طور قابل ملاحظه‌ای کوتاه‌تر می‌شود، هجای دوم در مرز هجایی stop برابر آوایی مناسبی برای بازسازی دیگر موارد وقوع آن هجا در بافت‌های آوایی دیگر نیست. بنابراین این مرز هجایی نیز در انتخاب کلمات هدف لحاظ نشد. پس از تقطیع و استخراج هجاهای، هجاهای هر کلمه به تفکیک جایگاه نوایی در پرونده‌ای جداگانه ذخیره شدند.

۲-۲-۲- بازسازی گونه‌های گفتاری

در مرحله بازسازی، سه گونه گفتاری متفاوت از کلماتی یکسان از طریق هم‌گذاری هجاهای استخراج شده ساخته شدند. برای بازسازی کلمات، هجاهای هدف کلمات نوع اول (هجاهای اول) با هجاهای هدف کلمات نوع دوم (هجاهای دوم) هم‌گذاری شدند. به این ترتیب سه کلمه با معنی ساخته شد: "پرگار" /pargar/ از هم‌گذاری هجای /par/ در "پرداخت" و /gar/ در "کارگر"؛ "تردید" /tardid/، از هم‌گذاری /tar/ از "ترمیم" و /did/ از "شدید" و "کاربرد" /karbord/ از هم‌گذاری /kar/ از "کارگر" و /bord/ از "دوربرد" /durbord/. بازسازی این کلمات به سه روش متفاوت انجام شد. در روش اول، کلمات هدف از طریق هم‌گذاری هجاهای نوایی ساخته شدند. بر این اساس، برابرهای نوایی هجاهای هدف نوع اول با برابرهای نوایی متناظرشان از هجاهای نوایی نوع دوم هم‌گذاری شدند. به طور مثال، برای بازسازی کلمه "پرگار" /pargar/ یک بار



(شکل ۱): طیف‌نگاشت پاره‌گفتار طبیعی (بالا) و هم‌گذاری شده (پایین) "علی پرگار نمی‌خواهد"

برابر نوایی AP برای بازسازی کلمات در جایگاه نوایی PW انتخاب شدند. بعد از هم‌گذاری هجاهای و ساخت برابراهای نوایی مورد نظر، هیچ‌گونه پردازشی بر روی هجاهای هدف صورت نگرفت.

برای بازسازی و پردازش نوایی کلمات هدف از نرم افزار پرست استفاده شد. برای این منظور برای بازسازی گونه‌های گفتاری نوع اوّل، ابتدا علائم آوایی جملات ۷، ۸ و ۹ در سطح کلمه تقطیع و ذخیره‌سازی شدند. سپس گونه‌های نوایی IP، AP و PW کلمات "پرگار"، "تردید" و "کاربرد" که در قبل از طریق هم‌گذاری هجاهای هدف اوّل و دوم کلمات دیگر ساخته شده بودند، انتخاب و به جای همان کلمات با الگوی نوایی مشابه در جملات ۷، ۸ و ۹ در کنار دیگر کلمات هم‌گذاری شدند. پس از هم‌گذاری هیچ‌گونه پردازش نوایی یا زنجیره‌ای بر روی علائم آوایی صورت نگرفت.

(شکل ۱) طیف‌نگاشت گفتار طبیعی (الف) و هم‌گذاری شده (ب) جمله "علی پرگار نمی‌خواهد" (مثال ۷ ب) و (شکل ۲) گونه‌های طبیعی (الف) و هم‌گذاری شده (ب) کلمه "پرگار" را در همین جمله نشان می‌دهد. چنان‌که مشاهده می‌شود دیرش هجاهای و الگوی نوایی گونه‌های طبیعی و بازسازی شده کلمه "پرگار" بسیار به شبیه است. در هر دو گونه، سطح فرکانس پایه برای هجای دوم نسبت به هجای اوّل بالاتر است (f0) هجای اوّل و دوم به ترتیب ۱۱۰ و ۱۳۸ هرتز) و این کلمه به صورت یک گروه زیروبمی ظاهر شده است. به علاوه سطح فرکانس پایه در گفتار هم‌گذاری شده علاوه بر بخش پایدار در محدوده گذر هجاهای نیز مشابه گفتار طبیعی است. یعنی فرکانس پایه در گفتار هم‌گذاری شده، از هجای اوّل به هجای دوم کلمه "پرگار" و از هجای دوم این کلمه به هجای آغازین کلمه "نمی‌خواهد" به صورت نرم و پیوسته همانند گفتار طبیعی گذر کرده است. علت این مسئله این است که هجاهای نوایی در گفتار هم‌گذاری شده مانند هجاهای زیروبمی [par] و [gar] در کلمه "پرگار" ویژگی‌های نوایی گفتار طبیعی را علاوه‌بر محدوده پایدار در محدوده گذر هجاهای نیز در بر می‌گیرند.

- ۹ "کاربرد" /kar.bord/

الف) (چی گفت؟) کاربرد.

ب) این وسیله کاربرد ندارد.

>

ج) در صورت کاربرد نداشت.

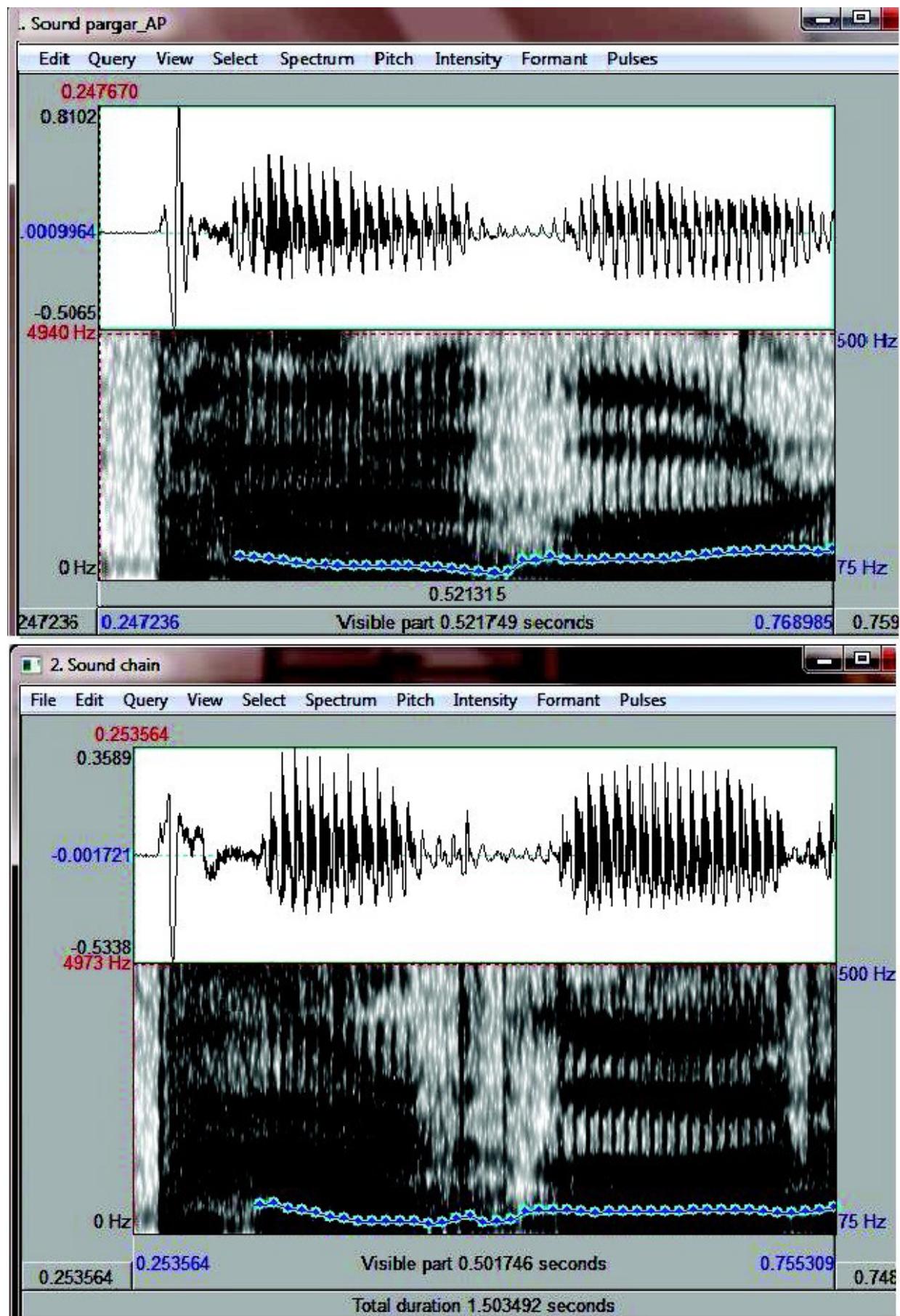
<{dar}{su.ra.te}{kar.bord}{na.dqf.tan}>

فرض بر آن است کلماتی که به این روش بازسازی می‌شوند ویژگی‌های واج‌گونه‌ای و نوایی گفتار طبیعی را حفظ می‌کنند. روش دوم شامل دو مرحله است. در مرحله اوّل، با هم‌گذاری برای نوایی آغاز کلمه واجی به عنوان واحد بازسازی هجای هدف نوع اوّل و پایان همین واحد نوایی به عنوان واحد بازسازی هجای هدف نوع دوم، یک گونه نوایی کلمه واجی (PW) از کلمات "پرگار"، "تردید" و "کاربرد" ساخته شد. این گونه نوایی سپس در جایگاه‌های نوایی IP و AP در جملات حامل مربوطه (مثال‌های الف و ب در جملات ۹-۷) به جای همان کلمات قرار داده شد. هم‌چنین با هم‌گذاری برابرهای نوایی آغاز و پایان گروه زیروبمی یک گونه نوایی گروه زیروبمی (AP) از کلمات مورد نظر ساخته شد. این گونه نوایی سپس در جایگاه نوایی PW در جملات حامل مربوطه (مثال‌های ج در جملات ۹-۷) به جای همان کلمات قرار داده شد. کلماتی که به این روش بازسازی شدند، با الگوی نوایی جملات مربوطه ناسازگار بودند. بر این اساس برابرهای آوایی این کلمات و هجاهای درون آن‌ها گونه‌های غیرنوایی محسوب می‌شوند. در مرحله دوم، هجاهای غیرنوایی کلمات هم‌گذاری شده به روش PSOLA مورد پردازش قرار گرفتند. در این روش فرکانس پایه و دیرش هجاهای خاص در زنجیره گفتار هم‌گذاری شده متناسب با مقادیر این پارامترها در گفتار طبیعی تنظیم می‌شوند و درنتیجه کیفیت گفتار بازسازی شده بهبود می‌یابد. بر این اساس مقادیر فرکانس پایه و دیرش هجاهای اوّل و دوم در کلمات بازسازی شده، متناسب با مقادیر این پارامترها برای همین هجاهای در جایگاه‌های نوایی مورد نظر در گفتار طبیعی تنظیم شدند.

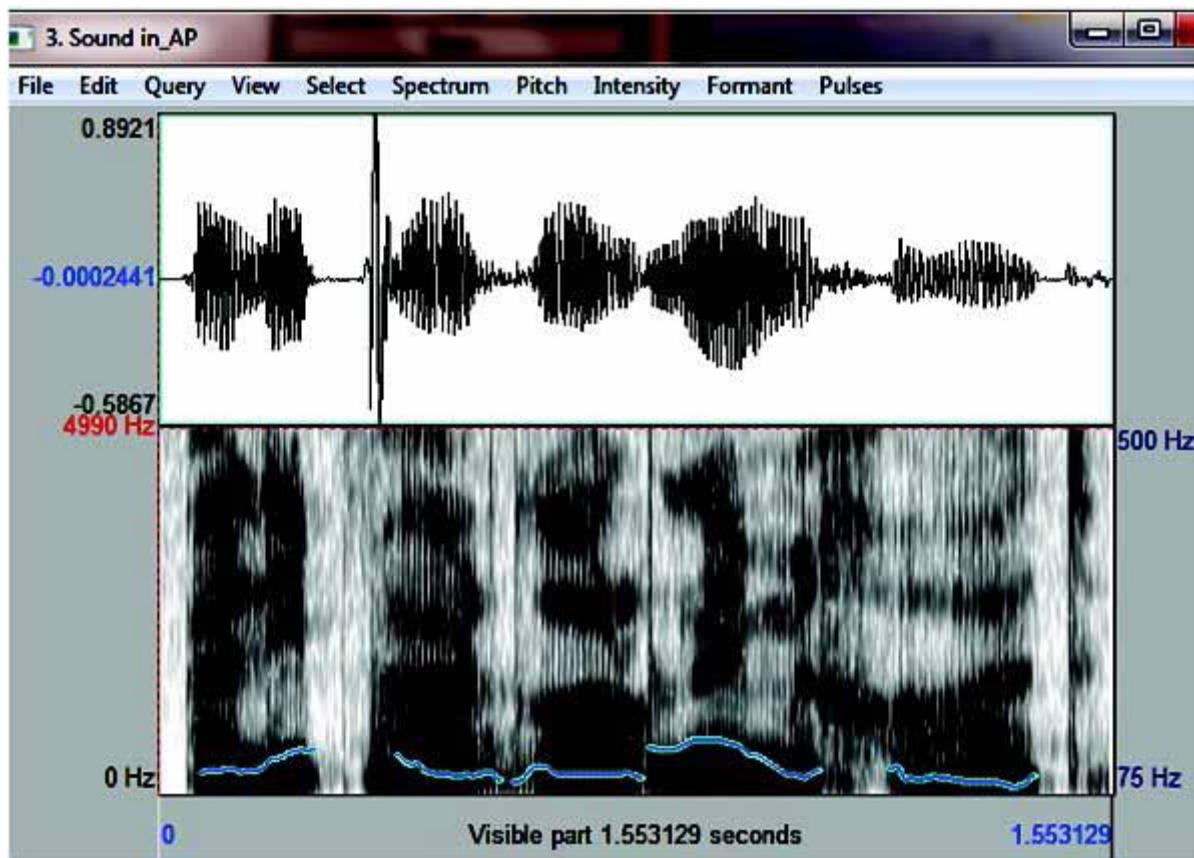
روش سوم مشابه روش دوم است با این تفاوت که زنجیره آوایی کلمات هدف پس از هم‌گذاری، پردازش نوایی نمی‌شود. در این روش نیز مانند روش دوم، برای نوایی کلمه واجی برای بازسازی کلمات در جایگاه‌های نوایی IP و AP و

فصل پنجم

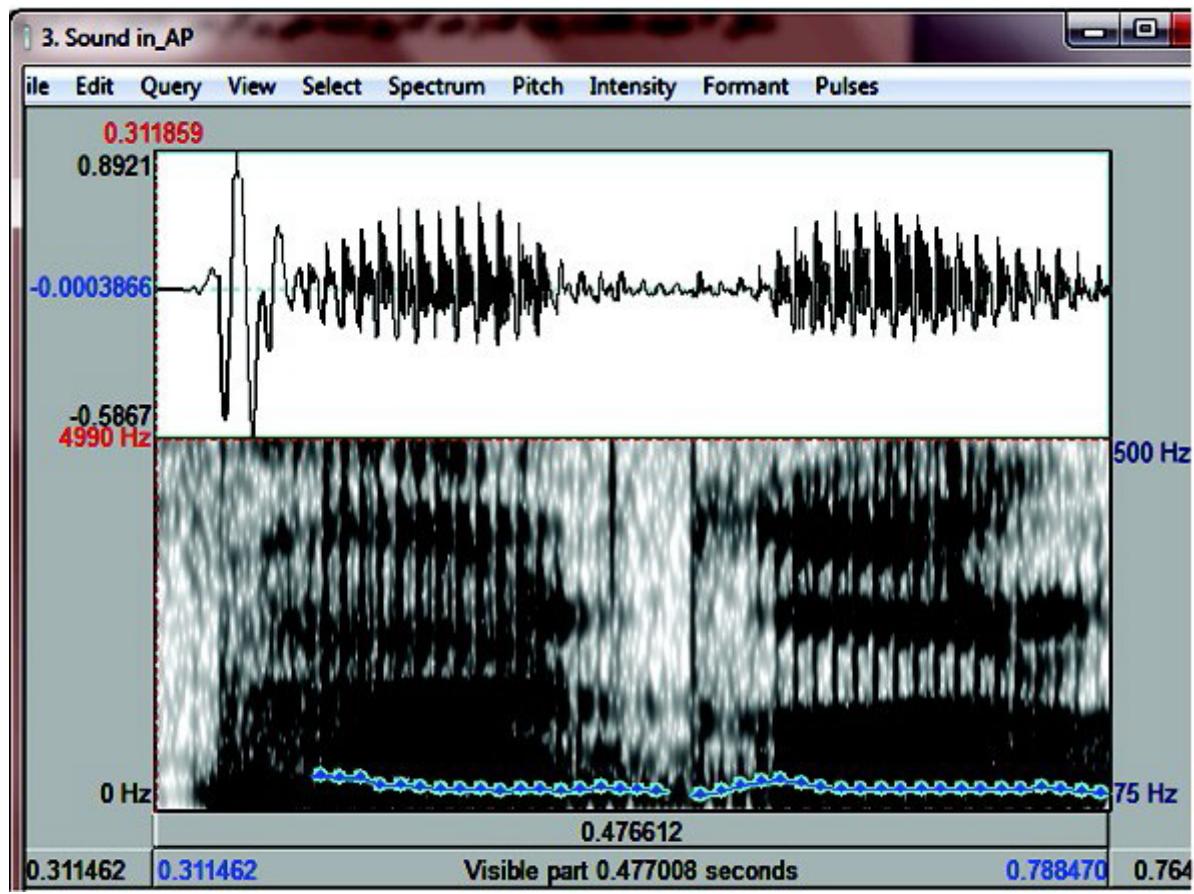




(شکل ۲): طیف نگاشت گونه طبیعی (بالا) و همگذاری شده (پایین) کلمه "پرگار" بر اساس روش بازسازی اول



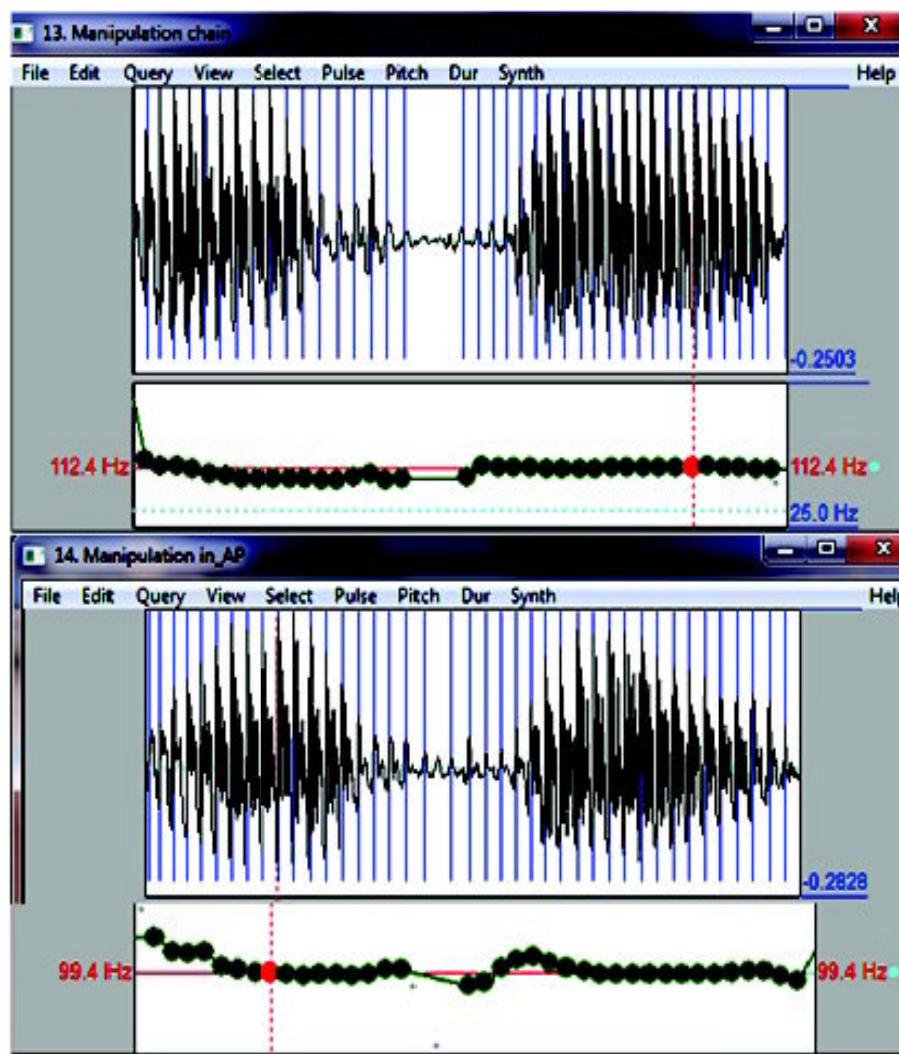
(شکل ۳): طیف‌نگاشت پاره‌گفتار هم‌گذاری شده "علی پرگار نمی‌خواهد" بر اساس روش بازسازی دوم



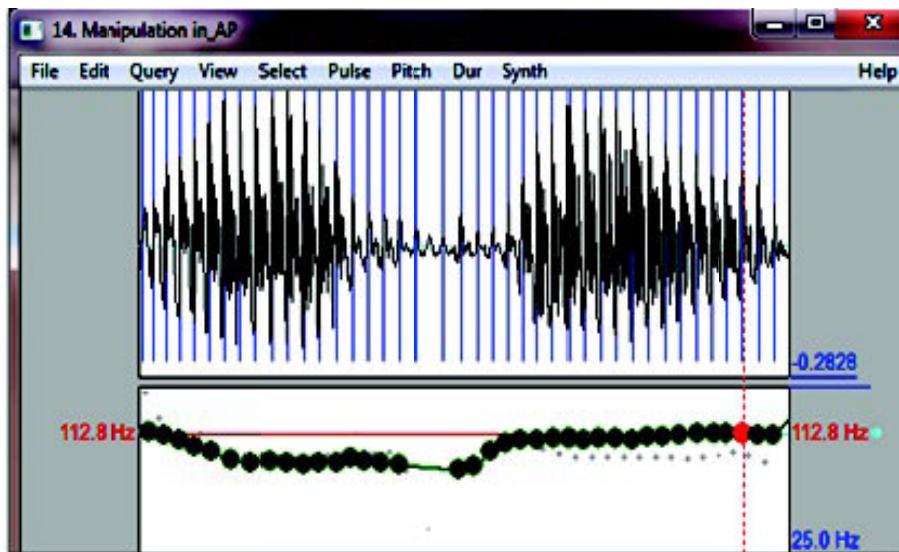
(شکل ۴): طیف‌نگاشت گونه هم‌گذاری شده کلمه "پرگار" بر اساس روش بازسازی دوم

فصل پنجم





(شکل ۵): تابع تغییرات فرکانس پالس‌های حنجره در واحد زمان برای گونه طبیعی (بالا) و هم‌گذاری شده (پایین) کلمه "پرگار" پیش از اعمال تغییرات زیروبمی



(شکل ۶): زیروبمی بازسازی شده گونه هم‌گذاری شده کلمه "پرگار"

نکته دیگر آن که دیرش محدوده بست و قطعه رهش بست: ۳۶ و رهش ۴۴ میلی‌ثانیه؛ [g] بست: ۲۷ و رهش: ۱۴ میلی‌ثانیه) و گفتار طبیعی ([p] بست: ۳۴ و رهش ۴۱ میلی‌ثانیه) انسدادی‌های [p] و [g] نیز در گفتار هم‌گذاری شده

متفاوت است. اول آن که میزان فرکانس پایه در سطح هر دو هجا برای کلمه "پرگار" در گفتار هم‌گذاری شده به طور تقریبی به یک اندازه است (حدود ۱۱۰ هرتز) که علت آن این است که این کلمه در پاره گفتار مورد نظر، گونه هم‌گذاری شده یک کلمه واجی است و تکیه زیروبمی ندارد؛ ولی در گفتار طبیعی سطح فرکانس پایه برای هجای دوم در مقایسه با هجای اول به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر است (اختلاف حدود ۳۰ هرتزی) که نشان می‌دهد این کلمه به صورت یک گروه زیروبمی مستقل ظاهر یافته است. دوم آن که در گفتار طبیعی فرکانس پایه از بخش پایانی کلمه "پرگار" به بخش آغازی کلمه "نمی‌خواهد" بدون ناپیوستگی و به صورت نرم، گذر کرده است که علت آن حضور نواخت مرزی h در حد فاصل میان دو گروه زیروبمی "پرگار" و "نمی‌خواهد" به ترتیب با نواختهای H^* و $L+H^*$ است. ولی در گفتار هم‌گذاری شده فرکانس پایه در بخش پایانی هجای دوم کلمه "پرگار" به یک باره قطع و در آغاز هجای [ne] در کلمه "نمی‌خواهد" به طور ناگهانی افزایش یافته است؛ این باعث شده در این محدوده ناپیوستگی نوایی قابل توجهی ایجاد شود.

بازسازی زیروبمی علامت آوایی به روش PSOLA به صورت افزایش یا کاهش زمانی فاصله قابها یا پالس‌های حنجره است. بنابراین هر گونه تغییر در زیروبمی علامت آوایی باعث تغییر در دیرش آن نیز می‌شود. به همین علت زیروبمی قبل از دیرش هجاهای بازسازی شد.

(شکل ۵) تابع تغییرات فرکانس پالس‌های حنجره را در واحد زمان برای گونه طبیعی (بالا) و هم‌گذاری شده (پایین) کلمه "پرگار" پیش از اعمال تغییرات زیروبمی نشان می‌دهد که چنان‌که مشاهده می‌شود الگوی تغییرات فرکانس پایه برای گفتار طبیعی و هم‌گذاری شده در سطح هر دو هجا با تفاوت دارد. (شکل ۶) بازنمود زیروبمی بازسازی شده گونه هم‌گذاری شده این کلمه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود پس از بازسازی زیروبمی، سطح فرکانس پایه در هر دو هجا به سطح مقادیر طبیعی نزدیک شده است. هم‌چنین برای بهبود کیفیت آهنگ گفتار هم‌گذاری شده در مرز کلمات هدف و کلمات بعد، یعنی در محدوده گذر از هجای پایانی کلمات هدف به هجای آغازین کلمات بعد، سطح فرکانس پالس‌ها مطابق با سطح فرکانس پالس‌های طبیعی بازسازی شد.

میلی‌ثانیه؛ [g] بست: ۲۶ و رهش: ۱۶ میلی‌ثانیه) به طور تقریبی به یک اندازه است که نشان می‌دهد ویژگی‌های زنجیره‌ای در سطح هجاهای نوایی در حد طبیعی است.

برای بازسازی گونه‌های گفتاری نوع دوم، ابتدا گونه PW کلمات "پرگار"، "تردید" و "کاربرد" در تمامی جایگاه‌های نوایی IP، AP و PW در جملات ۹-۷ به جای گونه طبیعی همان کلمات در کنار دیگر کلمات هم‌گذاری شد. این گونه در جایگاه نوایی PW جملات مورد نظر با الگوی نوایی جمله مطابقت داشت. جملات هم‌گذاری شده به طور دقیق معادل مثال‌های (ج) در گونه‌های بازسازی شده نوع اول بودند. بنابراین الگوی آهنگ این جملات بدون هرگونه پردازش نوایی، بسیار شبیه به گفتار طبیعی بود. اما حضور این گونه در جایگاه‌های نوایی نامربوط و نامناسب، یعنی جایگاه‌های IP، AP و PW در جملات الف و ب باعث شد الگوی آهنگ جملات در محدوده کلمات هدف از گفتار طبیعی فاصله گرفته و غیرطبیعی شود. در مرحله بعد، پاره‌گفتارهای هم‌گذاری شده الف و ب مورد پردازش قرار گرفتند؛ به این صورت که مقادیر فرکانس پایه و دیرش هجاهای کلمات هدف در این گونه‌ها متناسب با مقادیر این پارامترها برای همین هجاهای در گفتار طبیعی تغییر داده شدند. برای این منظور ابتدا علامت آوایی هر پاره گفتار در نرم‌افزار پرت به بازنمود دوبعده فرکانس پالس‌های حنجره در واحد زمان تبدیل شد (از طریق گزینه دست‌کاری). از این بازنمود سپس دو خروجی به دست آمد: یکی لایه زیروبمی، برای بازسازی مقادیر فرکانس پایه و دیگری لایه دیرش، برای بازسازی مقادیر دیرش هجاهای. بازسازی و تنظیمات نوایی مورد نظر بر روی پاره‌گفتارهای مربوطه سپس در هر یک از این دو لایه به طور جداگانه انجام شد.

(شکل ۳) طیف‌نگاشت پاره‌گفتار هم‌گذاری شده جمله "علی پرگار نمی‌خواهد" (مثال ۷ ب) و (شکل ۴) طیف‌نگاشت گونه هم‌گذاری شده کلمه "پرگار" را در همین جمله نشان می‌دهد. مقایسه این طیف‌نگاشتها با طیف‌نگاشتهای گفتار طبیعی (شکل‌های ۱ و ۲ بالا) نشان می‌دهد دیرش هجاهای در گفتار طبیعی به طور محسوسی بیش‌تر از گفتار هم‌گذاری شده است که علت آن طول بیش‌تر واکه‌ها (اختلاف ۲۰ میلی‌ثانیه‌ای برای واکه اول و ۴۵ میلی‌ثانیه‌ای برای واکه دوم) و دیرش بیش‌تر قطعه رهش انسدادی (اختلاف ۲۵ میلی‌ثانیه‌ای) [p] است. هم‌چنین الگوی نوایی گفتار هم‌گذاری شده و طبیعی با به طور کامل





ب) محرک‌ها و روش آزمایش: ۲۷ پاره‌گفتار بازسازی شده (۳ کلمه × ۳ جایگاه نوایی × ۳ روش بازسازی) به عنوان محرک‌های شنیداری به طور تصادفی به آزمودنی‌ها ارائه شد. از شرکت‌کننده‌ها خواسته شد میزان طبیعی بودن هر محرک را با تمرکز بر روی یک مقیاس ناپیوسته شامل اعداد ۱، به معنای به‌طور کامل غیرطبیعی تا ۵، به معنای به‌طور کامل طبیعی مشخص کنند. فاصله بین نقاط بر روی مقیاس ۰/۵ در نظر گرفته شد. بلافاصله پس از پخش هر محرک صفحه‌ای حاوی صورت نوشتاری آن و مقیاس مورد نظر بر روی صفحه نمایش گر رایانه برای آزمودنی‌ها نمایش داده می‌شد که آن‌ها باید کیفیت هر محرک را با علامت × در کنار عدد موردنظر مشخص می‌کردند. فاصله بین پاسخ شرکت‌کننده‌ها و پخش محرک بعد ۵ ثانیه در نظر گرفته شد. همچنین در صورت درخواست آزمودنی‌ها، محرک‌ها برای آن‌ها بازپخش می‌شوند. پیش از شروع آزمایش در توضیح به شرکت‌کننده‌ها گفته شد که هر جمله حاوی یکی از کلمات "پرگار"، "تردید" یا "کاربرد" است که نحوه تولید آن‌ها در سطح جمله مورد نظر حائز اهمیت فراوان است.

۳-۲-۲- آزمون ادراکی

فرضیه تحقیق عبارت بود از این که ویژگی‌های زنجیره‌ای از بافت نوایی تأثیر می‌پذیرند و این که در بازسازی یک پاره‌گفتار، برابر آوایی هر واحد بازسازی باید مناسب با جایگاه نوایی آن در سطح زنجیره گفتار مورد استفاده قرار گیرد تا کیفیت گفتار بازسازی در هر دو سطح زنجیره‌ای و زبرزنجیره‌ای به گفتار طبیعی نزدیک‌تر شود. اگر فرضیه مطرح شده درست باشد، در آن صورت انتظار می‌رود کیفیت پاره‌گفتارهای بازسازی شده نوع اول در مقایسه با نوع دوم و سوم طبیعی‌تر باشد. برای ارزیابی کیفیت گونه‌های گفتاری بازسازی شده و پاسخ به فرضیه تحقیق، یک آزمون ادراکی انجام شد. مراحل انجام این آزمون عبارت بود از:

(الف) انتخاب شرکت‌کننده‌ها: شرکت‌کننده‌ها عبارت بودند از ۱۰ گویشور مرد و ۱۰ گویشور زن که همگی به زبان فارسی معیار به عنوان زبان اول صحبت می‌کردند. آزمودنی‌ها همگی تحصیل کرده بوده و متوسط سن آن‌ها بین ۲۰ تا ۳۵ سال بود. هیچ‌کدام از شرکت‌کننده‌ها سابقه بیماری یا اختلال شنوایی نداشتند. به علاوه هیچ‌یک در جریان هدف تحقیق قرار نداشتند.

(جدول ۱): میانگین و پراش میزان طبیعی بودن پاره‌گفتارهای بازسازی شده برای روش بازسازی نوع اول، دوم و سوم در سطح جایگاه‌های نوایی IP و AP برای محرک‌های "پرگار"، "تردید" و "کاربرد"

PW	AP	IP	جایگاه نوایی		كلمات هدف
			روشن بازسازی	نوع اول	
۳/۸۷ (۱/۰۹)	۴/۰۵ (۰/۸۸)	۳/۹۰ (۱/۰۸)	نوع اول	پرگار	
۳/۶۷ (۱/۰۱)	۳/۷۲ (۰/۹۲)	۳/۲۵ (۱/۱۰)			
۱/۸۰ (۱/۸۰)	۱/۵۷ (۱/۰۳)	۱/۷۲ (۰/۹۶)			
۴/۲۰ (۱/۰۸)	۴/۱۰ (۱/۰۲)	۳/۹۷ (۱/۱۰)	نوع دوم	تردید	
۳/۶۰ (۰/۹۳)	۳/۶۰ (۰/۹۱)	۳/۶۵ (۰/۹۱)	نوع سوم		
۱/۷۰ (۰/۸۸)	۱/۶۵ (۰/۸۳)	۱/۷۷ (۰/۸۷)	نوع اول		
۴/۰۷ (۱/۱۰)	۴/۱۲ (۰/۸۴)	۴/۱۷ (۰/۷۹)	نوع دوم	کاربرد	
۳/۷۰ (۰/۹۳)	۳/۸۷ (۰/۹۵)	۳/۷۲ (۱/۱۱)	نوع سوم		
۳/۶۲ (۰/۷۲)	۱/۵۲ (۰/۷۴)	۱/۸۰ (۰/۸۱)	نوع اول		

(جدول ۲): نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه برای جایگاه‌های نوایی IP و AP برای "پرگار"

منبع تغییرات	جمع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجددات	میزان F	سطح معنی داری
روشن بازسازی (IP)	۵۰/۸۰۸	۲	۲۵/۴۰۴	۴۱/۱۶۷	۰/۰۰
روشن بازسازی (AP)	۷۲/۳۵۸	۲	۳۶/۱۷۹	۶۸/۰۰۴	۰/۰۰
روشن بازسازی (PW)	۵۲/۴۰۸	۲	۲۶/۲۰۴	۲۵/۴۱۳	۰/۰۰

(جدول ۳): نتایج آزمون تحلیل واریانس یک طرفه برای جایگاه‌های نوایی IP، AP و PW برای "تردید"

منبع تغییرات	جمع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	میزان F	سطح معنی داری
روش بازسازی (IP)	۵۶/۴۰۸	۲	۲۸/۲۰۴	۳۶/۹۳۶	۰/۰۰۰
روش بازسازی (AP)	۶۷/۰۳۳	۲	۳۳/۵۱۷	۶۰/۳۶۲	۰/۰۰۰
روش بازسازی (PW)	۶۸/۱۳۳	۲	۳۴/۰۶۷	۴۸/۳۰۴	۰/۰۰۰

(جدول ۴): نتایج آزمون تحلیل واریانس یک طرفه برای جایگاه‌های نوایی IP، AP و PW برای "کاربرد"

منبع تغییرات	جمع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	میزان F	سطح معنی داری
روش بازسازی (IP)	۶۳/۶۵۸	۲	۳۱/۸۲۹	۴۱/۶۳۵	۰/۰۰۰
روش بازسازی (AP)	۸۲/۳۰۰	۲	۴۱/۱۵۰	۶۲/۲۰۱	۰/۰۰۰
روش بازسازی (PW)	۶۹/۶۵۸	۲	۳۴/۸۲۹	۴۷/۵۲۳	۰/۰۰۰

اطمینان ۹۵٪ نشان می‌دهد که اثر عامل روش بازسازی بر کیفیت گفتار بازسازی شده در سطح تمامی جایگاه‌های نوایی معنی دار است. نتایج آزمون تعییبی LSD نشان داد که گونه‌های بازسازی شده نوع سوم در تمامی جایگاه‌ها با نوع اول و دوم تفاوت معنی دارند و تفاوت گونه‌های نوع اول و دوم فقط در جایگاه IP معنی دار نیست. در جایگاه‌های AP و PW این تفاوت معنی دار است. همچنین با توجه میزان F و PW به دست آمده برای "کاربرد" در جایگاه‌های IP، به دست آمده برای "کاربرد" در جایگاه‌های IP، F=۴۱/۶۳۵ در AP، F=۶۳/۲۰۱ در PW، F=۴۷/۵۲۳ در سطح معنی داری ۰/۰۰۱ < α و سطح اطمینان ۹۵٪ می‌توان گفت که روش بازسازی در تمامی جایگاه‌های نوایی بر کیفیت گفتار بازسازی شده اثر معنی داری دارد و مطابق با نتایج آزمون تعییبی LSD تفاوت گونه‌های نوع اول و دوم در تمامی جایگاه‌ها با نوع سوم معنی دار است و تفاوت گونه‌های اول و دوم در جایگاه PW معنی دار است ولی در جایگاه‌های IP و AP معنی دار نیست.

ج) تحلیل آماری: برای تحلیل آماری پاسخ‌ها، شامل ۵۴۰ پاسخ (۲۷ پاره گtar \times ۲۰ آزمودنی) چند آزمون تحلیل واریانس یک طرفه به ازای هر یک از جایگاه‌های نوایی IP، AP و PW به طور جداگانه برای هر یک از محرك‌های "پرگار"، "تردید" و "کاربرد" انجام شد که در هر آزمون، روش بازسازی (با سه سطح گونه‌های بازسازی نوع اول، دوم و سوم) به عنوان متغیر مستقل و میزان طبیعی بودن متغیر وابسته در نظر گرفته شد.

د) نتایج: (جدول ۱) میانگین و پراش پاسخ‌ها را برای روش بازسازی نوع اول، دوم و سوم در سطح جایگاه‌های نوایی IP، AP و PW به طور جداگانه برای محرك‌های "پرگار"، "تردید" و "کاربرد" نشان می‌دهد. چنان‌که مشاهده می‌شود، میانگین پاسخ‌ها برای تمامی محرك‌ها و در سطح تمامی جایگاه‌ها برای گونه‌های بازسازی نوع اول بیشترین و برای گونه‌های بازسازی نوع سوم کمترین است. جداول ۲، ۳ و ۴ نتایج آزمون تحلیل واریانس یک طرفه را به طور جداگانه برای جایگاه‌های نوایی IP، AP و PW به ترتیب برای محرك‌های "پرگار" (۲)، "تردید" (۳) و "کاربرد" (۴) نشان می‌دهد. برای "پرگار"، با توجه به میزان F به دست آمده برای IP، F=۴۱/۱۶۷ در سطح معنی داری ۰/۰۰۱ < α و سطح اطمینان ۹۵٪ می‌توان گفت که اثر عامل روش بازسازی بر کیفیت گفتار بازسازی شده در سطح تمامی جایگاه‌های نوایی معنی دار است. نتایج آزمون تعییبی LSD نشان داد که تفاوت گفتار بازسازی شده نوع سوم در تمامی جایگاه‌ها با نوع اول و دوم فقط در جایگاه IP با تفاوت معنی داری دارند. در جایگاه‌های AP و PW این تفاوت معنی دار نیست. برای "تردید" نیز، میزان F به دست آمده برای IP، F=۳۶/۹۳۶ در سطح معنی داری ۰/۰۰۱ < α و سطح

فصل پنجم
پردازهای دارویی

۳- نتیجه گیری و بحث

در این تحقیق، فرضیه‌ای مطرح شد مبنی بر این که کیفیت گفتار بازسازی شده از واحدهای نوایی در مقایسه با گفتار بازسازی شده از واحدهای غیرنوایی به گفتار طبیعی نزدیک‌تر است چون واحدهای نوایی علاوه‌بر ویژگی‌های زبرزنگیرهای، ویژگی‌های زنجیرهای گفتار طبیعی را نیز در بر می‌گیرند. برای آزمون، این فرض آزمایشی را انجام دادیم. در این آزمایش، سه گونه گفتاری متفاوت از کلماتی یکسان از طریق هم‌گذاری هجاهای به سه روش متفاوت ساخته شدند. در روش اول، کلمات از طریق هم‌گذاری هجاهای نوایی بدون پردازش فرکانس پایه و دیرش هجاهای ساخته شدند. در روش دوم، ابتدا کلمات با هجاهای غیرنوایی هم‌گذاری شدند و



- Hirschberg and P. Prieto 1996. Training intonational phrasing rules automatically from English and Spanish text-to-speech Speech Communication, 18:281- 290.
- Lewis, E., and Tatham, M. 2001. Automatic Segmentation of recorded speech into syllables for speech synthesis. *Proceedings of Eurospeech*, 01, 1703-1707. Aalborg
- Pierrehumbert, 1981. Synthesizing Intonation. *Journal of the Acoustical Society of America*. 70, 985-995
- Pierrehumbert, J. and Talkin, D. 1992. Lenition of /h/ and glottal stop", *Papers in Laboratory Phonology*, Vol II. 92-116
- Sadat Tehrani, Nima 2007. The Intonation Grammar of Persian. PhD dissertation, University of Manitoba, Winnipege.
- Cho, T., Keating, P. 2001. Articulatory and acoustic studies on domain-initial strengthening in Korean. *Journal of Phonetics* 29, 155-190.
- Jun Sun-Ah 1993. The Phonetics and Phonology of Korean Prosody. PhD Thesis, The Ohio State University.
- Keating, P., Cho, T., et al. 1998. Domain-initial articulatory strengthening in four languages. *LabPhon* 6, 145-163.
- Sato, H. 1992. Speech synthesis using CVC concatenation units and excitation waveform elements. *Trans. on Acoustical Society of Japan*, 83-69.
- Smith, C.L. 1997. The devoicing of /z/ in American English: Effects of local and prosodic context. *Journal of Phonetics* 25, 471-500
- Yoon, K. 2004. A prosodic phrasing model for a Korean text-to-speech synthesis system, *Journal of Phonetics*.
- Yoon, K. 2008. Design and evaluation of prosodically-sensitive concatenative units for a Korean TTS system. *Journal of Computer Speech and Language*.
- سپس هجاهای درون کلمات هم‌گذاری شده با توجه به جایگاه نوایی کلمات در سطح جمله در حوزه فرکانس پایه و دیرش پردازش شدند. در روش سوم، کلمات بدون هر گونه پردازش نوایی از طریق هم‌گذاری هجاهای غیرنوایی ساخته شدند. کلمات بازسازی شده سپس در جایگاه‌های نوایی آغاز و پایان IP، AP و PW در درون سه جمله حامل قرار داده شده و پس از تولید در یک آزمون ادراکی به شرکت‌کننده‌ها ارائه شدند. نتایج آزمون ادراکی نشان داد که کیفیت گفتار بازسازی شده نوع اول و دوم در تمامی جایگاه‌های نوایی به‌طور معنی‌داری از نوع سوم طبیعی‌تر است. در حقیقت، شرکت‌کننده‌ها گفتار بازسازی شده نوع سوم را با توجه به میانگین به‌دست آمده برای این گونه گفتاری در سطح جایگاه نوایی مختلف غیرطبیعی می‌دانند. هم‌چنین، گرچه بر اساس نتایج به‌دست آمده کیفیت گونه‌های گفتاری نوع اول و دوم در حد "طبیعی" است (میانگین به‌دست آمده برای این گونه‌ها، به‌طور متوسط بین ۳/۵ تا ۴/۵ است)، ولی میزان طبیعی بودن گونه گفتاری نوع اول در تمامی جایگاه‌ها از نوع دوم بیش‌تر است و این تفاوت در بعضی از جایگاه‌ها (جایگاه IP برای "پرگار"، AP و PW برای "تردید" و PW برای "کاربرد") معنی‌دار است. این نتایج نشان می‌دهد که با به‌کارگیری واحدهای بازسازی حساس به بافت نوایی، کیفیت گفتار بازسازی شده تا حد قابل قبولی بهبود می‌باشد.

۴- منابع

- ثمره، یدالله. ۱۳۶۴. آواشناسی زبان فارسی، تهران، مرکز نشر دانشگاهی.
- صادقی، وحید. ۱۳۸۶. تأثیر دمش بر تقبل واکدباری-بی واکی انسدادی‌های فارسی. *زبان و زبان‌شناسی*، ۶، ۶۱-۶۵.
- سوربخش، ماندانی. ۱۳۸۸. نقش تمایزی زمان شروع واک در هم‌خوان‌های دهانی فارسی معيار، رساله دکتری، دانشگاه تهران.
- سدات تهرانی، ۲۰۰۷. سادات تهرانی،

Allen, J., Hunnicutt, M., Klatt, D. 1987. From Text to Speech. The MITalk System. Cambridge University Press.

Alan, W. Black, Lenzo, K. 2003. Building Synthetic Voices. URL <http://www.festvox.org/bsv/>.

Alan, W. Black, Paul, T., Richard, C. 1999. The Festival Speech Synthesis System. URL http://www.cstr.ed.ac.uk/projects/festival/manual/festival_toc.html.

وحید صادقی تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی رشته آموزش زبان انگلیسی در سال ۱۳۷۶ به پایان رساند. وی در سال ۱۳۷۹ در رشته زبان‌شناسی در مقطع کارشناسی ارشد



از دانشگاه تهران فارغ التحصیل شد و در سال ۱۳۸۵ نیز در همان رشته مدرک دکترای خود را اخذ نمود. حوزه پژوهشی مورد علاقه وی پردازش گفتار و درک و بازشناسی گفتار است.

نشانی رایانامک ایشان عبارت است از:

vsadeghi5603@gmail.com

فصلنامه

